

Aus der Klinik und Poliklinik für Kinderchirurgie
der Medizinischen Fakultät der Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

**Katamnestische Untersuchungen zur suprakondylären und
y-kondylären Humerusfraktur im Kindesalter**

Zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät der Charité –
Universitätsmedizin Berlin

von
Katrín Feder
aus Potsdam

Dekan: Prof. Dr. med. Martin Paul

Gutachter: 1. Prof. Dr. med. H. Mau
 2. Prof. Dr. med. J. Bennek
 3. Prof. Dr. med. D.Roesner

Datum der Promotion: 25.04.2005

Abstract (deutsch)

Die Arbeit beschäftigt sich mit der suprakondylären und y-kondylären Humerusfraktur im Kindesalter. Die suprakondyläre Humerusfraktur ist die häufigste Ellenbogenfraktur beim Kind, die y-kondyläre Fraktur ist der suprakondylären ähnlich, tritt aber nur selten auf. Es wurden 172 suprakondyläre und 6 y-kondyläre Humerusfrakturen retrospektiv untersucht. Dazu wurden die Daten von 55 ambulant und 123 stationär behandelten Kindern bezüglich Unfallursache, Therapie und Komplikationen ausgewertet. Die Röntgenbilder der stationären Patienten wurden nachbefundet. 32,5% der stationär behandelten Kinder konnten nachuntersucht werden.

Die häufigste Unfallursache war ein Sturz aus der Höhe. Im Patientengut waren Frakturen nach Baumann Klassifikation I, II und III zu ähnlichen Teilen vorhanden. Häufigste Behandlungsverfahren waren, ggf. nach geschlossener Reposition, Ruhigstellung in Gipslanguetten oder Blountscher Schlinge, und geschlossene oder offene Reposition und anschließende Fixation mittels Kirschner Drähten. Die häufigsten Komplikationen waren primäre und sekundäre Nervenstörungen, Abweichung der Ellenbogenachse oder Bewegungseinschränkung nach Therapie. 68,5% der nachuntersuchten Patienten hatten ein exzellentes oder gutes Behandlungsergebnis.

Die Analyse der Ergebnisse und deren Vergleich mit den Ergebnissen anderer Autoren zeigen Folgendes: Nicht dislozierte Extensionsfrakturen sollten in der Blountschen Schlinge ruhiggestellt werden. Dislozierte Frakturen müssen exakt und schonend, möglichst geschlossen, reponiert werden. Gekreuzte Kirschner Drähte bieten gute Stabilität. Primäre und sekundäre Nervenstörungen haben eine gute Prognose. Radiologische Hilfsmittel wie Baumannwinkel, Rotationsfehlerquotient und Epiphysenachsenwinkel geben nur eine Orientierung bei der Vermeidung von Abweichungen der Ellenbogenachse oder Bewegungseinschränkungen. y-kondyläre Frakturen mit nur geringer Dislokation der Kondylenfragmente können primär wie suprakondyläre Frakturen behandelt werden.

Schlagworte: suprakondyläre Humerusfraktur, y-kondyläre Humerusfraktur, Ellenbogenfraktur, Kind

Abstract (englisch)

This paper deals with supracondylar and y-condylar humerus fractures in childhood. The supracondylar humerus fracture is the most frequent elbow fracture in children, the y-condylar fracture is similar to the supracondylar one, but occurs only rarely. 172 supracondylar and 6 y-condylar humerus fractures have been analysed retrospectively. For that purpose data of 55 outpatients and 123 in-house treated children have been analysed with regard to the cause of accident, therapy and complications. The radiographs of the in-patients have been reevaluated. 32.5% of the in-patients have been seen for follow-up.

Most frequent cause of accident was a fall from a height. Within the group of patients, fractures that were classified to Baumann I, II and III occurred to equal rates. The treatments which were used mostly are immobilization in plaster casts or Blount's loop, after closed reduction if necessary, and closed or open reduction followed by fixation by Kirschner wires. The most frequent complications were primary and secondary neural disorders, deviation of the axis of the elbow or limitation of elbow function after therapy. 68.5% of the follow-up patients had an excellent or good outcome.

The analysis of the results including their comparison to the results of other authors have led to the following conclusion: Nondisplaced extension fractures should be immobilized by Blount's method. Displaced fractures have to be reduced accurately and sparing, if possible by closed reduction. Crossed Kirschner wires provide a good stability. Primary and secondary neural disorders have got a good prognosis. Radiological tools like angle of Baumann, rotation error quotient and angle of epiphyseal axis only provide an orientation in avoiding deviation of elbow axis or limitation of elbow function. Y-condylar fractures with only slight dislocation of the condylar fragments can primary be treated like supracondylar fractures.

Keywords: supracondylar fracture of the humerus, y-condylar fracture of the humerus, elbow fracture, child

1	Einleitung	- 7 -
1.1	Allgemeiner Teil	- 8 -
1.1.1	Anatomie und physiologische Ursachen für die Fraktur	- 8 -
1.1.2	Definition und Klassifikation	- 9 -
1.1.3	Unfallmechanismen	- 13 -
1.1.4	Diagnostik	- 14 -
1.1.5	Selbstkorrekturmöglichkeiten des wachsenden Skeletts	- 16 -
1.1.6	Therapie	- 17 -
1.1.7	Komplikationen	- 21 -
2	Material und Methoden	- 28 -
2.1	Patientengut	- 28 -
2.2	Nachuntersuchung	- 29 -
2.3	Datenverarbeitung	- 30 -
3	Ergebnisse	- 30 -
3.1	Patientengut	- 30 -
3.2	Unfallursachen	- 32 -
3.3	Frakturen	- 35 -
3.4	Assoziierte Verletzungen	- 36 -
3.5	Diagnostik	- 37 -
3.6	Therapie	- 38 -
3.7	Komplikationen und deren Therapie	- 45 -
3.8	Ergebnisse der Nachuntersuchung	- 51 -
3.9	Radiologische Ergebnisse der konventionellen Röntgenaufnahmen	- 57 -

4	Diskussion	- 61 -
4.1	Patientengut	- 61 -
4.2	Unfallursachen	- 62 -
4.3	Frakturen	- 62 -
4.4	Assoziierte Verletzungen	- 63 -
4.5	Diagnostik	- 64 -
4.6	Therapie	- 64 -
4.7	Komplikationen und deren Therapie	- 67 -
4.8	Ergebnisse der Nachuntersuchung	- 70 -
4.9	Radiologische Ergebnisse der konventionellen Röntgenaufnahmen	- 74 -
5	Zusammenfassung	- 77 -
6	Literaturverzeichnis	- 81 -
7	Danksagung	- 86 -

1 Einleitung

Die suprakondyläre Humerusfraktur ist die häufigste Fraktur am kindlichen Ellenbogen [1, 2, 3, 4]. Sie macht 50% bis 70% der Ellenbogenfrakturen aus [1, 5, 6, 7] und tritt besonders im ersten Lebensjahrzehnt mit einem Häufigkeitsgipfel zwischen dem fünften und siebenten Jahr auf [8, 9, 10]. Die umfangreiche Literatur und die Vielzahl von Therapieansätzen zur suprakondylären Humerusfraktur spiegeln ihre Bedeutsamkeit wider. Während nicht dislozierte Frakturen kaum Schwierigkeiten bereiten, wird auf Grund der häufigen Komplikationen, insbesondere des Problems des Retinierens des Repositionsergebnisses, die Behandlung der dislozierten Frakturen kontrovers diskutiert. Neben neurovaskulären Komplikationen und dem gefürchteten Kompartmentsyndrom können Bewegungseinschränkungen des Ellenbogens oder der häufige Cubitus varus zur dauerhaften Beeinträchtigung der Funktion und Form des Armes führen. Aus diesem Grund ist es nötig, die Ergebnisse der einzelnen Behandlungsverfahren immer wieder kritisch zu kontrollieren.

Die y-kondyläre Humerusfraktur, welche eine suprakondyläre Humerusfraktur mit zusätzlichem Längsbruch des Kondylenmassivs darstellt [11], ist im Kindesalter selten. Es liegt nur wenig Literatur zu dieser Art der Ellenbogenfraktur vor und ein Wissenszuwachs bezüglich der Therapie dieses Bruchs wäre wünschenswert.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit den Unfallursachen, der Behandlung und den Komplikationen von 172 suprakondylären und sechs y-kondylären Humerusfrakturen, die in einem Zeitraum von fünf Jahren in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité behandelt wurden. Ungefähr ein Drittel der stationär behandelten Kinder konnten zur Kontrolle des Behandlungsergebnisses nachuntersucht werden. Diese Ergebnisse sollen kritisch betrachtet und mit den Angaben anderer Autoren verglichen werden. Besondere Beachtung sollen die nicht selten auftretenden Nervenverletzungen erhalten. Somit soll ein Beitrag zur Beurteilung der einzelnen Behandlungsverfahren der suprakondylären Humerusfraktur geleistet, und über die Erfahrungen mit der Therapie der seltenen y-kondylären Humerusfraktur berichtet werden. Außerdem soll eine Bewertung einiger Hilfsparameter der konventionellen Röntgendiagnostik erfolgen.

Der Arbeit ist ein allgemeines Kapitel über die Charakteristika der suprakondylären und y-kondylären Humerusfraktur und den damit verbundenen Besonderheiten für Diagnostik und Therapie vorangestellt.

1.1 Allgemeiner Teil

1.1.1 Anatomie und physiologische Ursachen für die Fraktur

An der **Bildung des Ellenbogengelenkes** sind das distale Humerusende, der proximale Radius und die proximale Ulna beteiligt. Der Humerusschaft läuft distal in Epicondylus lateralis und medialis aus, dazwischen befinden sich Capitulum humeri (lateral) und Trochlea (medial) [12, 13]. Auf der Vorderfläche liegen die Fossa radialis und die Fossa coronoidea, die, bei Beugung des Ellenbogens, das Caput radii bzw. den Processus coronoideus aufnehmen. Auf der Hinterfläche befindet sich die Fossa olecrani, zur Aufnahme des Olecranon in Streckstellung [12]. Hinter dem Epicondylus medialis verläuft der Sulcus für den Nervus ulnaris [12, 13]. Der Gelenkkörper des Humerus steht nicht senkrecht auf dem Schaft, sondern ulnar etwas tiefer als radial, dieses erklärt den natürlichen Cubitus valgus [13]. Der Ellenbogenachsenwinkel bezeichnet den Winkel zwischen Humerus- und Ulnaschaft in vollständiger Streckung und Supination. Dieser Winkel beträgt im Alter von drei bis elf Jahren bei Mädchen 0° - 12° , im Durchschnitt $6,1^{\circ}$ und bei Jungen 0° - 11° , im Durchschnitt $5,4^{\circ}$ [14]. Das proximale Radiusende ist schlank. Das Collum radii trägt das Caput radii, welches Fovea articularis und Circumferentia articularis zur Gelenkbildung mit Humerus bzw. Ulna besitzt [12, 13]. Die proximale Ulna ist dagegen stärker ausgebildet. Sie läuft in das Olecranon aus, welches ventral die Incisura trochlearis trägt [12]. Auf deren Fläche verläuft ein medianer First, der im Gelenk als Führungsleiste in die Führungsrinne der Trochlea greift. Ventral läuft die Incisura in den Processus coronoideus aus [13].

Das Ellenbogengelenk besteht aus drei **Einzelgelenken**, die von einer gemeinsamen Gelenkkapsel umgeben sind. Das Humeroulnargelenk, ein Scharniergelenk mit ausgesprochener Knochenführung, stellt die Hauptverbindung zwischen Ober- und Unterarm dar [12, 13]. Die Trochlea dient als Gelenkkopf, die Incisura trochlearis ulnae als Gelenkpfanne. Das Humeroradialgelenk ist der Form nach ein Kugelgelenk mit Capitulum humeri als Gelenkkopf und Fovea articularis des Caput radii als Gelenkpfanne. Es besitzt aber, auf Grund der Fixation des Radius über die Membrana interossea antebrachii und das Ligamentum anulare radii an die Ulna, nur zwei Freiheitsgrade, Flexion und Extension sowie Pronation und Supination [12, 13]. Das dritte Gelenk ist das proximale Radioulnargelenk, ein Radgelenk. In ihm bewegt sich die Circumferentia articularis radii bei Pronation und Supination in der Incisura radialis ulnae und dem Ligamentum anulare radii [12, 13]. Die gemeinsame Gelenkkapsel umschließt alle drei Gelenke, vorn überzieht sie Fossa radialis und coronoidea, hinten die Fossa olecrani, die Epikondylen werden freigelassen [12, 13].

Seitlich wird die Kapsel durch das Ligamentum collaterale ulnare und das Ligamentum collaterale radiale verstärkt [13].

Wichtig für das Verständnis der supra- und y-kondylären Humerusfrakturen ist die Kenntnis der **Knochenkerne** und **Epiphysenfugen** am distalen Humerus. Es gibt vier Kernsysteme, zwei extraartikuläre, die des Epicondylus lateralis und medialis, und zwei epiphysäre, die des Capitulum humeri und der Trochlea [15]. Die Kerne erscheinen radiologisch zu unterschiedlichen Lebensjahren, abhängig von Geschlecht und individueller Entwicklung. Auch der Schluss der Epiphysenfugen erfolgt, mit einer gewissen physiologischen Breite, zu einem bestimmten Alter. Die Zeiträume für beides sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

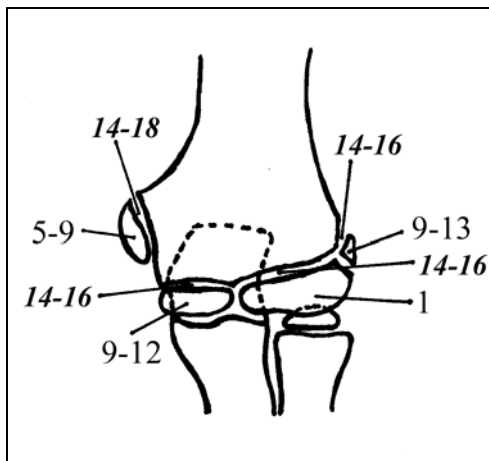


Abb. 1: Erscheinen der Knochenkerne und Schluss der Epiphysenfugen in Lebensjahren (nach [16, 17, 18, 19, 20])

Im **Wachstumsalter** befindet sich der Knochen in ständigem Umbau. Metaphysär, wo der neu gebildete Knochen durch Mineralisationsvorgänge umgebaut wird und endgültig ossifiziert, ist seine Widerstandsfähigkeit besonders gering [16]. Im Vergleich dazu ist die Stabilität der Bänder hoch, was dazu führt, dass es im Wachstumsalter vor allem zu knöchernen Läsionen und ausgesprochen selten zu Luxationen kommt [20]. Knochenbrüche im Kindesalter sind meist einfache Brüche, Splitterbrüche sind selten und kommen fast ausschließlich nach Einwirkung starker Gewalt zustande [1, 21].

1.1.2 Definition und Klassifikation

Die **suprakondyläre Humerusfraktur** ist als Schräg- oder Querfraktur des distalen Humerus oberhalb des Kondylenmassivs definiert [22]. Viele Humerusfrakturen verlaufen tiefer durch die Fossa olecrani und befinden sich so, im Gegensatz zu suprakondylären Brüchen strenger Definition, intrakapsulär. Sie werden dennoch als suprakondyläre Fraktu-

ren, aber auch als dia-, trans- oder perkondylär bezeichnet [1, 2, 5, 23]. Diese Bezeichnungen sind verwirrend, da sie in der Literatur auch für andere Bruchformen oder Epiphysenlösungen benutzt werden. Eine Untergliederung der suprakondylären Frakturen nach genauer Höhe der Frakturlinie sollte, nach Ansicht einiger Autoren, unterlassen werden, da daraus keine therapeutischen Konsequenzen entstehen [1, 2, 5]. Die suprakondylären Humerusfrakturen lassen sowohl die Gelenkflächen als auch die Wachstumsfuge unverletzt.

Die **y- oder T-kondyläre Humerusfraktur** stellt eine Kombination aus suprakondylärer Fraktur mit einer interkondylären Fraktur dar [11], sie verletzt Epiphysenfuge und Gelenkfläche.



Abb. 2: y-kondyläre Fraktur, das distale Fragment ist zusätzlich interkondylär frakturiert

Die suprakondylären Frakturen werden nach Kocher (zitiert in [3]) in **Extensions- und Flexionsfrakturen** eingeteilt. Die Extensionsfraktur ist mit 95 bis 99% die vorherrschende Form [1, 3, 9]. Für die Einteilung der Frakturen nach dem Schweregrad der Dislokation gibt es eine Vielzahl von Klassifikationen, die am häufigsten gebrauchten [10] sind, für den deutschen Sprachraum, die nach Baumann [2], Lubinus [19] und Felsenreich [24] und, im angloamerikanischen Raum, die nach Gartland [5], Wilkins [8] und Holmberg [25]. Die Unterschiede und Gemeinsamkeiten veranschaulicht folgende Darstellung.

Tabelle 1: Klassifikationen der suprakondylären Humerusfraktur [2, 5, 8, 19, 25]

Dislokation	Klassifikation der suprakondylären Humerusfraktur nach					
	Lubinus	Felsenreich	Baumann	Holmberg	Gartland	Wilkins
keine	I	I	I	I	I	I
Achsknick	II	I	II	II	I	I
(zusätzlich) Seitverschiebung	III	II	II	II	II	II (posteriorer Kortex intakt)
(zusätzlich) Rotation	III	II	II	III	II	II (posteriorer Kortex intakt)
Kontaktverlust der Fragmente	III	III	III	IV	III	III (posteriorer Kortex nicht intakt) IIIa posteromedial, IIIb posterolateral disloziert

In der Kinderchirurgischen Klinik der Charité wird die **Einteilung nach Baumann** [2] bevorzugt. Hierbei zählen zu Baumann I Frakturen solche ohne bedeutende Dislokation, die keine oder geringe geschlossene Einrichtungsmaßnahmen benötigen (Abbildung 3). Baumann II Frakturen weisen Dislokationen bis Schaftbreite mit Achsabweichung, Rotation und/oder Verkürzung auf, wobei die Fragmente in Kontakt stehen (Abbildung 4). Als Baumann III Frakturen werden die bezeichnet, bei denen kein Kontakt mehr zwischen den Fragmenten besteht (Abbildung 5). Auch die suprakondyläre Komponente der y-kondylären Frakturen wird in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité nach der Baumann Klassifikation beurteilt, die Dislokation der beiden Kondylenfragmente untereinander wird gesondert beschrieben.

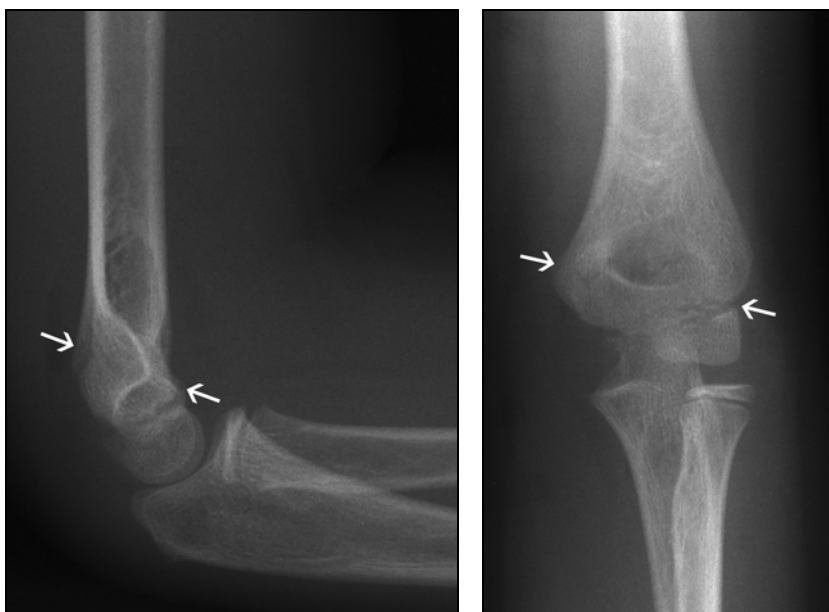


Abb. 3: Baumann I- Fraktur, der Frakturspalt ist kaum sichtbar (markiert)

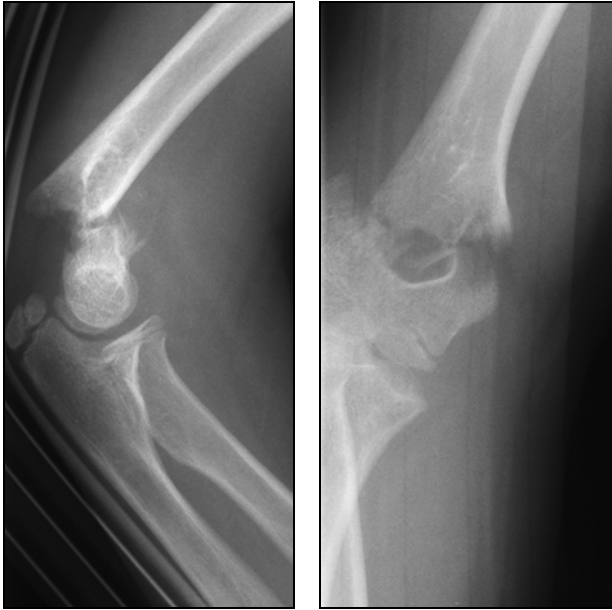


Abb. 4: Baumann II- Fraktur, Fragmente disloziert aber in Kontakt

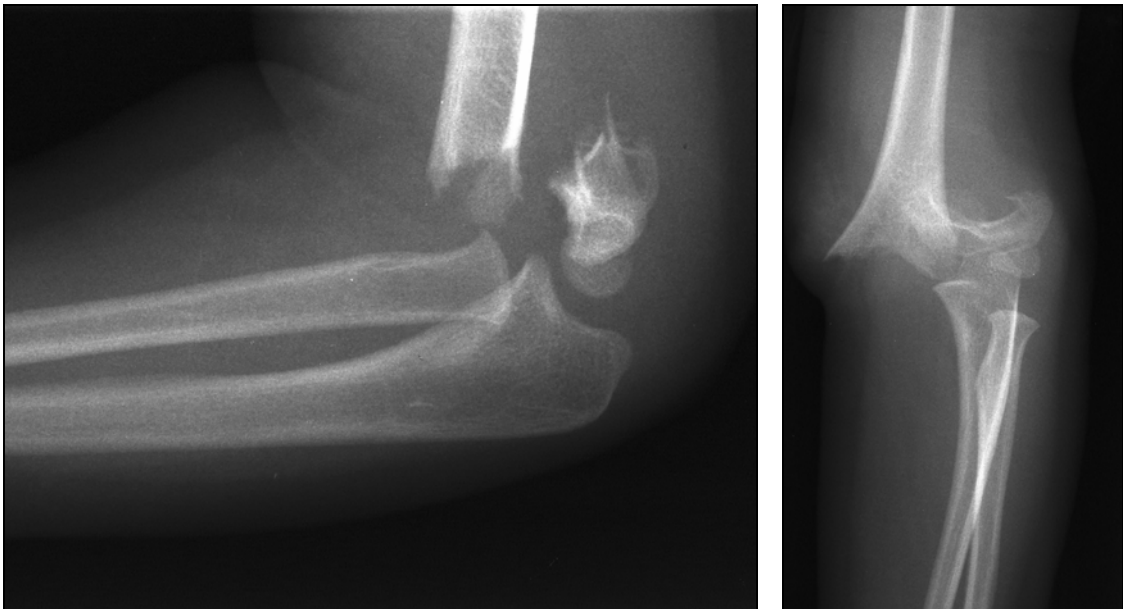


Abb. 5: Baumann III Fraktur, Fragmente disloziert, kein Kontakt

Eine Klassifikation der Dislokation von y-kondylären Frakturen gibt es von Riseborough und Radin (zitiert in [21, 26]). Typ I beinhaltet nicht dislozierte Frakturen. Typ II Frakturen weisen eine Separation von Trochlea und Capitulum ohne signifikante Rotation untereinander auf. Typ III Frakturen zeigen Separation mit Rotation und Typ IV Frakturen sind durch starke Zertrümmerung der Gelenkfläche und weite Dislokation der Fragmente gekennzeichnet.

1.1.3 Unfallmechanismen

Extensions- und Flexionsfraktur des distalen Humerus haben unterschiedliche Unfallmechanismen.

Die **Extensionsfraktur** entsteht durch Sturz auf die Hand mit gebeugtem oder sich in Hyperextension befindenden Ellenbogen [16]. Beim häufigeren Sturz mit gebeugtem Ellenbogen überträgt sich die Kraft des Aufpralls über die Unterarmknochen auf den distalen Humerus, wobei der Processus coronoideus gegen die Trochlea und das Radiusköpfchen gegen das Capitulum gestoßen werden [2]. Die Fraktur entsteht durch Abscher- und Biegunskräfte [16]. Befindet sich der Ellenbogen beim Aufprall in Hyperextension, so kommt es zu einer reinen Biegungsfraktur [16], wobei das Olecranon in die Fossa olecrani drückt. Dieser Unfallmechanismus ist seltener [19]. Der Verlauf des Frakturspaltes ist bei beiden die Extensionsfraktur verursachenden Unfallmechanismen gleich. Er läuft von proximal dorsal nach distal ventral [16] (Abbildung 3). Das dorsale Periost bleibt bei der Extensionsfraktur meist intakt und wird nur vom Knochen abgelöst, was der Fraktur nach Reposition eine gewisse dorsale Abstützung verleiht [4, 8].

Die **Flexionsfraktur** entsteht durch direkten Sturz rücklings auf den gebeugten Ellenbogen. Das distale Humerusende wird durch Scher- und Biegunskräfte zur Beugeseite hin abgebrochen [16]. Der Frakturspalt verläuft von proximal ventral nach distal dorsal [16] (Abbildung 4). Das dorsale Periost, welches als einziges der Fraktur innere Stabilität verleihen könnte, ist zerrissen [4, 8].

Ob eine suprakondyläre Humerusfraktur rein durch Torsion entstehen kann wird unterschiedlich eingeschätzt. Lubinus [19] spricht sich, bezogen auf seine Experimente, für diesen Mechanismus aus, Baumann [16] lehnt ihn als im reellen Leben nicht vorkommenden Mechanismus ab.

Die seltene **y-kondyläre Fraktur** entsteht auf ähnliche Weise wie die suprakondyläre Flexionsfraktur. Hierbei wird der distale Humerus nicht nur durch die über das Olecranon einwirkende Kraft abgebrochen, sondern auch durch die über den First der Incisura trochlearis übertragene Gewalt längs gebrochen [2, 21, 26]. Ob die Kräfte, die zur y-kondylären Fraktur führen größer [11, 27] sind als die, die eine suprakondyläre Fraktur verursachen, oder nicht [26, 28] wird unterschiedlich bewertet.

Der nicht dominante Arm ist von Frakturen häufiger betroffen als der dominante, da er als

Schutz und Abwehr benutzt wird [2, 29].

Die häufigste Unfallursache ist ein Sturz zu ebener Erde [6] oder ein Sturz aus der Höhe [29]. In den Sommermonaten ereignen sich die meisten Unfälle [6, 29]. Jungen sind häufiger betroffen [2, 6, 10].

1.1.4 Diagnostik

Anamnese: Der Unfallmechanismus hat für die Art der Läsion weniger Bedeutung als das Alter des Kindes und der Reifegrad des Skeletts [20]. Die Anamnese sollte ergeben, ob es sich um ein adäquates Trauma handelte, wo die Läsion lokalisiert ist, wie das subjektive Ausmaß des Schmerzes ist und ob nach Begleitverletzungen gesucht werden muss [20].

Klinische Untersuchung: Schon visuell kann erfasst werden, ob Frakturzeichen, wie Fehlstellung, Schwellung, Schonhaltung oder, bei einer offenen Fraktur, sichtbare Knochenfragmente vorhanden sind. Zwingend notwendig ist die Prüfung der Peripherie bezüglich Durchblutung, Motorik und Sensibilität. Schmerzhaftes Untersuchungen, wie die Prüfung auf Crepitatio oder abnorme Beweglichkeit, sind zu unterlassen [2, 20].

Röntgendiagnostik: Die primäre radiologische Diagnostik sollte generell, ggf. unter Schmerzmedikation, in zwei senkrecht aufeinander stehenden Ebenen (a.p. und seitliche Aufnahme) erfolgen [1, 20]. Dabei sollte ein Film gewählt werden, der groß genug ist, die anliegenden Gelenke und eventuell vorhandene Begleitverletzungen mitzuerfassen [2]. Das früher, und auch heute noch, als wertvolles Hilfsmittel empfohlene Röntgen der unverletzten Gegenseite [1, 5, 16, 18, 19, 30] lehnt von Laer [20] als ineffizient ab, weil es nicht dabei hilft schwer sichtbare Frakturen leichter zu identifizieren und eine zusätzliche Strahlenbelastung bedeutet. Anhand der Röntgenbilder wird festgestellt, ob eine Fraktur vorliegt, wo sich diese befindet und wie stark sie disloziert ist. Ob es sich um eine Extensions- oder Flexionsfraktur handelt, kann auf dem Seitbild mit Hilfe der **Rogers'schen Hilfslinie** erkannt werden (Abbildung 6). Diese ist eine Markierungslinie entlang der vorderen Humeruskortikalis, welche normalerweise das Capitulum humeri am Übergang vom mittleren zum hinteren Drittel schneidet. Bei einer Extensionsfraktur liegt der Schnittpunkt davor, bei einer Flexionsfraktur dahinter. Da dies auch bei nur leicht dislozierten Frakturen der Fall ist, dient die Hilfslinie auch zur Entscheidung, ob überhaupt eine Fraktur vorliegt [20].

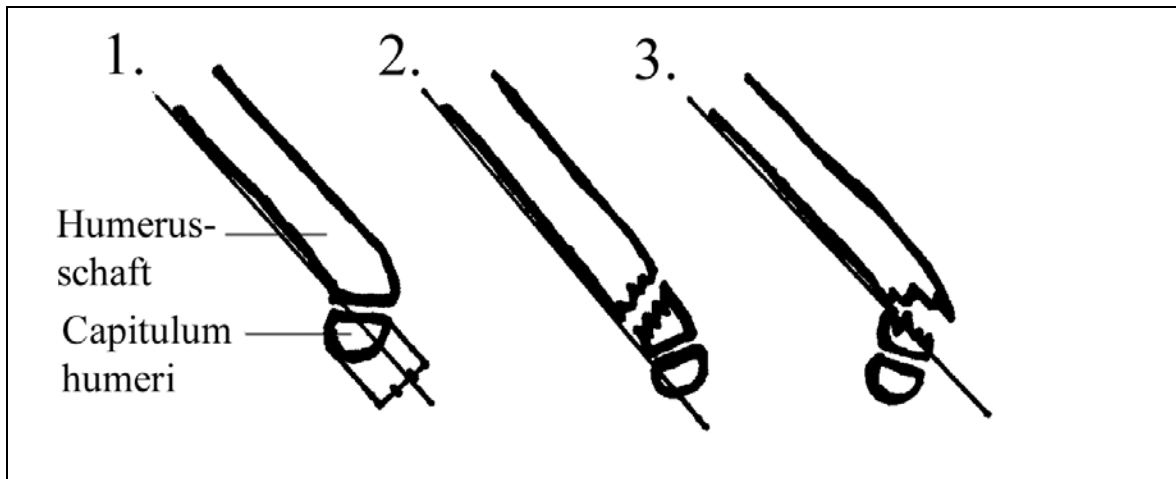


Abb. 6: Rogers Hilfslinien: 1. normal, 2. Extensions-, 3. Flexionsfraktur (nach [20])

An **Dislokationsrichtungen** sind die Dislocatio ad axim (Achsknick), die Dislocatio ad latus (Seitverschiebung), die Dislocatio ad longitudinem (Verkürzung/Distraktion) und die Dislocatio ad peripheriam (Verdrehung) zu unterscheiden [31]. Das Ausmaß der Seitverschiebung, Verkürzung oder Distraktion wird in $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ Schaftbreiten angegeben [20]. Achsknicke in der Sagittalebene, im Sinne einer Ante- oder Rekurvation, werden durch Messen des Winkels zwischen Achse des proximalen und Achse des distalen Fragments objektiviert. Zu diesem Zweck kann auch der **Epiphysenachsenwinkel** bestimmt und bezüglich seiner Abweichung von der Norm beurteilt werden (Abbildung 7a). Dieser Winkel wird von einer Geraden in der Achse des Humerusschaftes und einer Geraden gebildet, die senkrecht auf dem proximalen flachen Ende des Capitulumkernes steht [7, 32, 33]. Er ist durchschnittlich 30° bis 45° [7, 33] groß, kann aber zwischen 25° und 65° variieren [9]. Achsknicke in der Frontalebene, im Sinne eines Cubitus varus oder valgus, werden mit Hilfe des **Baumannschen Winkels α** beurteilt (Abbildung 7b). Dieser wird von der Humerusachse und einer Geraden entlang des Endes der lateralen Humerusmetaphyse gebildet [16], er ist normalerweise zwischen 70° und 80° groß [9]. Es besteht eine Korrelation zwischen α und dem klinischen Ellenbogenachsenwinkel in der Form, dass $90^\circ - \alpha$ ungefähr 5° größer ist als dieser [2].

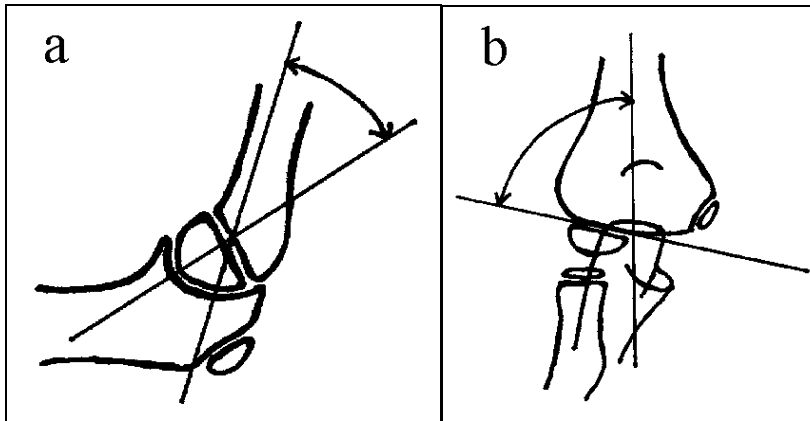


Abb. 7: Epiphysenachsenwinkel (a) und Baumannwinkel α (b) (nach [7] und [2])

Eine Rotation der Fragmente untereinander ist schwerer zu beurteilen. Hinweise kann das seitliche Röntgenbild liefern, wenn auf ihm ein Missverhältnis zwischen Breite des proximalen und Breite des distalen Fragmentes, ein so genannter Rotationssporn, zu sehen ist [20]. Teilt man die Differenz der Breite der Fragmente im Seitbild durch die Breite des Kondylenmassivs im a.p.-Bild, so erhält man den **Rotationsfehlerquotienten (RFQ)** [34] (Abbildung 8). Ist dieser kleiner als 0,1, so ist nach von Laer [20] keine relevante Veränderung der Ellenbogenachse zu erwarten, ist er größer 0,1, so muss der Rotationsfehler rigoros beseitigt werden.

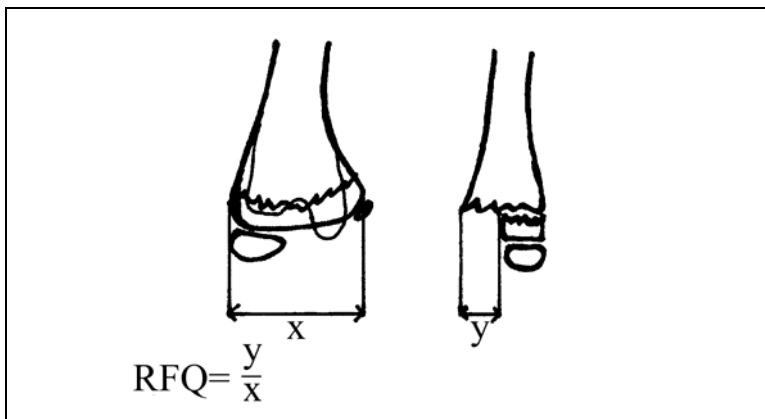


Abb. 8: Rotationsfehlerquotient (nach [20])

1.1.5 Selbstkorrekturmöglichkeiten des wachsenden Skeletts

Das Ellenbogengelenk hat im humeroulnaren Gelenkanteil die Funktion eines Scharniergelenkes. Fehlstellungen, die in Hauptbewegungsrichtung dieses Gelenkes, also in der Sagittalebene, liegen, werden im Laufe des Wachstums korrigiert [1, 20, 35]. Dieses nimmt relativ viel Zeit in Anspruch, denn die Epiphysenfuge des distalen Humerus ist nur zu 20% bis 33% am Längenwachstum des Oberarms beteiligt [12, 15], und nur bei jüngeren Kindern ist mit vollständiger Spontankorrektur zu rechnen. Fehlstellungen in der Frontalebene

werden nicht beseitigt [16, 20]. Nach Reposition noch bestehende Ante- oder Rekurvationen können also in gewissem Maße spontan korrigiert werden, wohingegen dies bei Cubitus varus oder hypervalgus nicht der Fall ist. Über das Schicksal des Rotationsfehlers, der Verdrehung der Fragmente untereinander, herrscht Uneinigkeit. Klar ist, dass seine Folgen, also die Abkipfung in der Frontalebene, bestehen bleiben. Von Laer et al. [15] und Arino et al. [35] sprechen sich für eine Korrektur der Rotation durch Detorsionsvorgänge aus, wobei von Laer in einer früheren Arbeit [32] und Smith [14] schreiben, dass der Rotationsfehler nicht beseitigt, sondern lediglich durch Drehung in der Schulter kompensiert wird. Unbestritten verschwinden die Zeichen des Rotationsfehlers, der ventrale oder dorsale Rotationssporn, durch Resorption.

1.1.6 Therapie

Es wurde eine Reihe von Therapieverfahren zur Behandlung der suprakondylären Humerusfraktur entwickelt. Diese lassen sich in drei Gruppen, konservative, halbkonservative und operative Verfahren, einteilen [3, 32].

Zu den **konservativen Verfahren** zählen, nach ggf. geschlossener Reposition, die Ruhigstellung im Handgelenk-Schlingenverband nach Blount (Cuff-and-Collar) [1], in Oberarm- oder Thorax-Arm-Gipsen verschiedenster Varianten [2, 24] und die Pflasterextension nach Dunlop [16]. Letztere wird heute nicht mehr angewandt.

Die so genannten **halbkonservativen Verfahren** zeichnen sich durch ggf. geschlossene Reposition und perkutanes Einbringen von Fremdmaterial aus. Es zählen hierzu verschiedene Extensionsverfahren, wie die Drahtextension nach Baumann [16], die Nagelexension nach von Ekesparre [36], die Schraubenextension nach Palmer et al. [37], und die perkutane Fixation mit Kirschner-Drähten nach Böhler [38], wobei heute fast ausschließlich die letzte Methode verwandt wird.

Bei den **operativen Verfahren** wird offen reponiert und die Kirschner-Drähte werden perkutan nach Böhler [38] oder offen nach Witt [39] eingebracht.

Nur die noch aktuellen und in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité verwendeten Methoden sollen hier genauer dargestellt werden. Dieses sind die Blount'sche Schlinge, die Oberarmgipsschiene und die geschlossene oder offene Reposition mit ggf. anschließendem Einbringen von Kirschner-Drähten.

Undislozierte Frakturen werden konservativ behandelt. Sie werden in der Blount'schen Schlinge, mit einer dorsalen Oberarmgipsschiene oder mit dorsaler und ventraler Oberarmgipsschiene ruhiggestellt.

Nach der **Blount'schen Methode** wird das Ellenbogengelenk in spitzwinkliger Flexionsstellung mittels einer um das Handgelenk und einer um den Nacken geführten Schlinge, welche miteinander verknotet werden, fixiert [1]. Nach einigen Tagen muss die Schlinge nachgezogen werden, um die Spitzwinkelstellung bei Abschwellung der Weichteile aufrecht zu erhalten [40]. Diese Stellung bewirkt, dass Trizepssehne und intakter dorsaler Periostschlauch im Sinne einer Zuggurtung abstützend auf die Fraktur wirken, und dass Anteversionsfehlstellungen in der Blountschen Schlinge korrigiert werden können [4, 22]. Für die Behandlung von Flexionsfrakturen ist die Fixation nach Blount ungeeignet, da hier das hintere Periost nicht intakt ist [4, 8, 15, 17, 40]. Ein weiterer Nachteil der Methode kann die Gefahr der sekundären Durchblutungsstörung sein, denn in Hyperflexion komprimieren auftretende oder noch vorhandene Weichteilschwellungen die Strukturen der Ellenbeuge und können so die arterielle Durchblutung wie den venösen Abfluss behindern [41]. Die Vor- und Nachteile der Blountschen Schlinge treffen auch auf die Fixation im Spitzwinkelgips zu.

Die Gefahr der Durchblutungsstörung ist bei Ruhigstellung in rechtem Winkel und Neutral- bis Pronationsstellung mittels dorsoradialer und eventuell zusätzlicher ventraler **Gipslonguette** geringer. Allerdings ist ein, wie auch immer angelegter, Oberarmgipsverband nicht in der Lage, eine optimale Ruhigstellung der Fraktur zu erzielen [2, 41]. Insbesondere kann er nicht die Rotation verhindern, die durch den vor dem Körper gehaltenen Unterarm und die Außenrotationstendenz der unfixierten Schulter verursacht wird [2, 20, 24]. Das Anlegen einer Abduktionsschiene oder eines Thorax-Arm-Gipses würde zu besserer Stabilität führen [2, 24, 41], ist aber ein sehr umständliches Verfahren [41] und wird heute nicht mehr angewandt. Die Haltung des Unterarmes während der Immobilisation in Neutral- bis Pronationsstellung beruht auf der Beobachtung, dass es in dieser Stellung seltener zum Auftreten eines Cubitus varus kommt [2, 42, 43]. Der Grund hierfür ist, dass in Pronation die Bänderstrukturen der lateralen Ellenbogenseite gespannt sind, das distale Fragment gegen das proximale pressen und somit das Abkippen nach medial verhindern [42]. In Supinationsstellung sind die Bänder lax und verhindern ein Abkippen nicht [42]. Die anmodellierten Gipslonguetten sollen vom proximalen Oberarmdrittel bis zu den Fingergrundgelenken reichen [2].

Dislozierte Frakturen müssen reponiert werden, dieses sollte vorrangig geschlossen erfolgen. Indikationen für die offene Reposition sind Frakturen, die sich geschlossen nicht befriedigend reponieren lassen, offene Frakturen, Frakturen mit begleitender Nerven- oder Gefäßverletzung, ein beginnendes Kompartmentsyndrom und ein so ausgeprägtes Hämatom, dass Durchblutungsstörungen drohen [3, 8, 16, 17, 32, 44].

Bei der **geschlossenen Reposition** wird zunächst, bei Rückenlage des Patienten, ein Längszug in der Achse des Armes ausgeübt, welcher sich zur Schonung der ventralen Weichteile vor Überdehnung in 30°-40° Flexion befinden sollte [9, 17]. Unter Beibehaltung des Längszuges wird der Unterarm, je nach Richtung des bestehenden Rotationsfehlers, proniert oder supiniert [1, 20], und Seitverschiebungen in der Frontalebene werden durch Varus- oder Valgusstreß korrigiert [8] bzw. durch seitlichen Druck auf das distale Fragment modelliert [1]. Anschließend wird unter Längszug der Achsknick korrigiert indem, bei Extensionsfrakturen, der Ellenbogen vorsichtig gebeugt wird, während das proximale Fragment nach dorsal und das distale Fragment, durch Druck auf das Olecranon, nach ventral gedrückt werden [1, 8, 17]. Bei Flexionsfrakturen wird während der Beugung des Ellenbogens ein Druck in der Achse des Unterarmes ausgeübt, der das distale Fragment nach dorsal drückt [8]. Damit ist die Reposition abgeschlossen. Vor, während und nach Reposition muss der Radialispuls kontrolliert werden. Druck von ventral auf das distale Ende des proximalen Fragmentes sollte zur Schonung der Nerven- und Gefäßstrukturen vermieden werden [9]. Gelingt die geschlossene Reposition nicht, sollte, zur Schonung der Weichteile, höchstens ein weiterer Versuch geschlossen zu reponieren unternommen werden [20].

Muss die Fraktur **offen reponiert** werden, so gibt es verschiedene Zugangswege. Der Zugang von ventral, von der Beugeseite des Ellenbogens, bietet die Möglichkeit die hier liegenden neurovaskulären Strukturen zu sehen und eventuelle Gefäßverletzungen zu versorgen [2, 8]. Auch von einem ulnaren Zugang kann die Arteria brachialis gut erreicht werden [2, 20]. Der Nachteil dieses Zuganges ist, dass, um ein radial gelegenes Interpositum zu beseitigen, ein zusätzlicher radialer Zugang geschaffen werden muss [20]. Es kann auch primär ein radialer Zugang gewählt werden, vor allem wenn der Nervus radialis gesehen werden soll [8]. Ein Zugang von dorsal, von der Streckseite des Ellenbogens, bietet sich nur an, wenn die Fraktur nicht mit Nerven- oder Gefäßverletzungen assoziiert ist [17]. Der Vorteil ist, dass von hieraus die Fraktur leichter zu reponieren ist [17]. Wilkins [8] lehnt den dorsalen Zugang ab, da die ventralen neurovaskulären Strukturen nicht gesehen wer-

den und die iatrogene Verletzung der, von der Fraktur relativ unversehrt gelassenen, dorsalen Weichteile zu vermehrter Narbenbildung und damit zur Bewegungseinschränkung führen kann.

Nach geschlossener Reposition kann die Fraktur, wenn sie stabil steht, mittels Blount'scher Schlinge oder Oberarmgipslonguette ruhiggestellt werden [2, 5]. Ist ausreichende Stabilität nicht gewährleistet oder wurde offen reponiert, so wird mit Hilfe von Extensionsverfahren weiterbehandelt oder die Fragmente werden durch das Einbringen von Kirschner-Drähten stabilisiert [2, 5, 17].

Die verschiedenen Methoden der **Extensionsbehandlung** werden in neuerer Zeit praktisch nicht mehr verwendet [18, 20, 40, 45]. Sie liefern zwar gute Behandlungsergebnisse [16, 37], sind aber mit langem Krankenhausaufenthalt und den resultierenden Kosten und Belastungen für das Kind verbunden [20].

Das Einbringen von **Kirschner-Drähten** nach erfolgter Reposition bietet von allen Methoden die definitivste Stabilisation [20]. Nach geschlossener Reposition werden sie perkutan nach Böhler [38], nach offener Reposition meist offen nach Witt [39] eingebracht, wobei auch perkutanes Einbringen möglich ist.

Zum perkutanen Einbringen [38] werden die Epikondylen getastet und unter Durchleuchtung mit dem Bildverstärker je ein Kirschner-Draht vom lateralen und vom medialen Epikondylus eingebohrt. Diese müssen bis in die Gegenkortikalis vorgebohrt werden. Die Epiphysenfuge sollte dabei, zur Vermeidung späterer Wachstumsstörungen, nicht gekreuzt werden. Es können bei Bedarf auch mehr Drähte eingebracht werden oder als Alternative zu gekreuzten Kirschner-Drähten, und zur Vermeidung iatrogenen Verletzungen des Nervus ulnaris, zwei radiale Drähte verwendet werden. Die Kirschner-Drähte dürfen sich nicht auf Höhe der Frakturlinie kreuzen, da sie sonst die Rotation der Fragmente untereinander nicht verhindern [20]. Nach Röntgenkontrolle werden die Drähte gekürzt und es wird eine dorsoradiale Gipslonguette angelegt, die die Drahtenden ausspart [20]. Die Drähte können auch unter Hautniveau versenkt werden [38].

Wurde offen reponiert, so können die Kirschner-Drähte analog, aber unter visueller Kontrolle in die Epikondylen eingebohrt werden [39]. Dieses bietet den Vorteil, dass in der Nachbarschaft verlaufende Gefäße und Nerven dargestellt und somit geschont werden können. Nach Röntgenkontrolle werden die Drähte unter Hautniveau gekürzt und nach Einlage einer Drainage und Wundverschluss wird eine dorsoradiale Gipsschiene angelegt.

Zur **Behandlung y-kondylärer Frakturen** liegt, auf Grund der Seltenheit dieser Fraktur im Kindesalter, wenig Literatur vor. Undislozierte Frakturen werden konservativ wie suprakondyläre Frakturen behandelt [11, 20, 28]. Zur Therapie der dislozierten Frakturen gehen die Meinungen, bei kleinen Fallzahlen, auseinander. Baumann empfiehlt, auch in Berufung auf andere Autoren, die Vertikalextension [2]. In neueren Arbeiten werden Extensionsverfahren kaum mehr erwähnt. Ruiz et al. [28] empfehlen die geschlossene Reposition mit perkutanem Einbringen von gekreuzten Kirschner-Drähten und einem zusätzlichen quer eingebrachten Draht zur Fixierung der Fragmente untereinander. Sie sehen in der offenen Reposition das Risiko, durch Abpräparation der Weichteilgewebe die distalen Fragmente von ihrer Blutversorgung zu trennen [28]. Auch Re et al. [11] halten die geschlossene Reposition mit perkutaner Kirschner-Draht-Spickung bei jüngeren Kindern für möglich, bei Jugendlichen befürworten sie offenes Vorgehen. Von Laer [20], Jarvis und D'Astous [26] und Papavasiliou et al. [27] sprechen sich generell für eine offene Versorgung der y-kondylären Fraktur aus, dabei wird der dorsale Zugang besonders empfohlen. Papaviliou et al. nutzen zur Fixierung der Fragmente gekreuzte Kirschner-Drähte, teils ergänzt durch einen quer eingebrachten Draht, oder eine die distalen Fragmente untereinander fixierende Schraube [27]. Jarvis und D'Astous und Re et al. benutzen vor allem Schrauben zur interkondylären Fixierung und Platten zur Verbindung von proximalem Fragment und Kondylenfragmenten [11, 26].

Die **Immobilisationszeit** sollte am Ellenbogen drei bis vier Wochen betragen [1, 5, 17, 20, 46]. Das Osteosynthesematerial sollte drei bis sechs Wochen postoperativ entfernt werden [17, 47]. Bei perkutan eingebrachten, nicht unter die Haut versenkten Drähten kann dies ambulant erfolgen, unter der Haut gelegene Drähte müssen meist in Allgemeinnarkose entfernt werden [48].

1.1.7 Komplikationen

Wenn im Folgenden die Komplikationen der y-kondylären Humerusfraktur nicht eigenständig aufgeführt sind, so liegt es an der Seltenheit dieser Fraktur im Kindesalter, an der entsprechend wenig umfangreichen Literatur und den geringen Fallzahlen. Auf Grund der Ähnlichkeiten der y-kondylären mit der suprakondylären Fraktur kann jedoch vermutet werden, dass sich auch die Komplikationen wenig unterscheiden.

1.1.7.1 Primäre Komplikationen

1.1.7.1.1 *Primäre Nervenverletzungen*

Posttraumatische Nervenverletzungen bei suprakondylären Humerusfrakturen werden mit einer Häufigkeit von 4% bis 9,4% [3, 4, 10, 17, 45, 49] angegeben. Bei dislozierten Frakturen liegt die Rate der Nervenverletzungen bei 7,5% bis 16% [29, 46, 50, 51, 52, 53, 54]. Am häufigsten ist der Nervus radialis betroffen, gefolgt vom Nervus medianus, kombinierten Störungen und von Störungen des Nervus ulnaris [10, 17, 49, 51, 52]. Welcher Nerv geschädigt wird, ist abhängig von der Dislokationsrichtung der Fragmente. Ist das distale Fragment dorsomedial verschoben, so spannt sich der Nervus radialis über die Kante des proximalen Fragmentes und wird hier stark gedehnt [2, 8, 49, 50]. Bei Verschiebung nach dorsolateral oder dorsal sind der Nervus medianus und die Arteria brachialis gefährdet [2, 8, 49, 50]. Ventrale oder ventrolaterale Verschiebung des distalen Fragments, wie sie besonders bei Flexionsfrakturen vorkommt, dehnt den Nervus ulnaris über der Hinterkante des proximalen Fragmentes [8, 49, 50]. Meist handelt es sich bei den resultierenden sensiblen und/oder motorischen Nervenausfällen um Neurapraxien [9, 45, 55, 56], dass heißt um Störungen ohne Strukturveränderung des Nerven, die vollständige Durchtrennung eines Nerven ist selten [9, 18, 45]. Dieses erklärt, weshalb sich die nervalen Störungen in fast allen Fällen spontan zurückbilden [5, 40, 45, 46, 49, 54, 56].

1.1.7.1.2 *Primäre Durchblutungsstörungen*

Posttraumatische Durchblutungsstörungen sind selten, ihre Häufigkeit liegt bei unter 1% bis 5% [10, 49, 50, 57]. Pirone et al. [46] berichten eine Häufigkeit von 9,6% bei dislozierten Frakturen. Besonders dorsolateral und dorsal dislozierte Frakturen prädisponieren, auf Grund des gegen das ventrale Gefäßnervenbündel drückenden proximalen Fragmentes, zu Durchblutungsstörungen [8, 9]. Zur Minderdurchblutung kann es durch Spasmus, Abknickung, Kompression oder Intimaeinriß der Arteria brachialis, mit oder ohne Thrombusbildung, kommen, vollständige Zerreißung der Arterie ist extrem selten [9, 17, 57]. Die notfallmäßige Reposition der Fraktur führt meist zur Wiederkehr des Radialispulses [5, 20, 57]. Ist dies nicht der Fall, so muss die Arterie operativ dargestellt und die Gefäßstrombahn wiederhergestellt werden [5, 57]. Wenn, trotz fehlender Wiederkehr des Pulses, die Hand rosig und warm und die Rekapillarierungszeit normal ist, kann nach Campbell et al. [55] und Gosens und Bongers [50] unter engmaschiger Kontrolle zugewartet werden. Die posttraumatische Durchblutungsstörung muss sorgfältig behandelt und beobachtet werden, da die Ischämie zu Muskelnekrosen bis hin zur Ausbildung einer Volkmann'schen Kontraktur

führen kann [9, 17, 57].

1.1.7.1.3 Begleitverletzungen

Neben den dargestellten neurovaskulären Begleitverletzungen, kann es auch zu so starker Weichteilschädigung kommen, dass eine offene Fraktur resultiert. Deren Häufigkeit wird mit unter 1% bis 7% angegeben [2, 4, 7, 10, 44, 46]. Meist wird die Haut an der medialen Ellenbogenseite vom proximalen Fragment durchspießt [17], auf Grund der anatomischen Gegebenheiten sind dabei die Gefäße und der Nervus medianus besonders gefährdet. Erstgradig offene Frakturen können wie entsprechend dislozierte geschlossene Frakturen behandelt werden [7]. Höhergradig offene Frakturen sollten operativ versorgt werden [4, 7, 17]. Alle Patienten mit offenen Frakturen sollten Antibiotika erhalten [58].

Patienten mit supra- oder y-kondylärer Fraktur können natürlich auch zusätzliche Unfallfolgen, wie weitere Frakturen, Schädel-Hirn-Trauma oder Verletzungen anderer Organe, aufweisen. Diesem ist in Diagnostik und Therapie Rechnung zu tragen.



Abb. 9: suprakondyläre Fraktur Baumann III, zusätzlich distale Radiusfraktur

1.1.7.2 Sekundäre Komplikationen

1.1.7.2.1 Sekundäre Nervenverletzungen

Sekundäre Nervenverletzungen betreffen vor allem den Nervus ulnaris, der durch Kirschner-Drähte oder auf Grund veränderter Anatomie bei ausgeprägtem Cubitus varus, geschädigt werden kann [2, 20]. Ersteres führt sofort postoperativ zu einer, sich nach Drahtentfernung meist spontan zurückbildenden [20], Nervenirritation. Die Inzidenz von iatrogenen

Ulnarisläsionen durch Kirschner-Drähte beträgt 0% bis 7% [20, 46, 50, 52, 59, 60, 61, 62, 63]. Cubitus varus assoziierte Ulnarisschäden bilden sich erst verzögert aus und werden nur sehr selten berichtet [64]. Sie verlangen eine operative Behandlung [64].

Treten Störungen der anderen Nerven erst nach Behandlung auf, oder ist der Nervus ulnaris sekundär gestört, ohne dass Kirschner-Drähte eingebracht wurden, so können diese Störungen durch Repositionsmanöver verursacht sein [45, 49]. Da aber nicht alle Nervenstörungen bei der Erstuntersuchung erkannt werden und besonders die Sensibilitätsprüfung bei Kindern Schwierigkeiten bereiten kann, ist auch ein nicht diagnostiziertes primäres Bestehen der Störung möglich [49].

1.1.7.2.2 Sekundäre Durchblutungsstörungen

Die, wenn auch seltene, so doch gefürchtetste Komplikation der suprakondylären Humerusfraktur ist das Kompartmentsyndrom, welches zur Volkmann'schen Kontraktur führen kann. Es kommt fast ausschließlich bei Kindern und überwiegend nach Verletzungen der oberen Extremität vor [2, 7, 65, 66]. In einer bis drei von 1000 suprakondylären Humerusfrakturen bildet sich ein Kompartmentsyndrom aus [67]. Durch frakturbedingtes Ödem, Hämatom, fortbestehende zirkulationsbeeinträchtigende Dislokation oder Arterienverletzung kommt es zur verminderten Blutversorgung [2, 17]. Auch bei tastbarem Radialispuls kann die Mikrozirkulation bedrohlich gestört sein [7, 17]. Verhindern einschnürende, oder durch die Anschwellung der Weichteile einschnürend gewordene, Verbände die Expansion des geschwollenen Unterarmes, so kommt es durch die zusätzliche Kompression von außen zu Behinderung des venösen Rückstromes und zur Ischämie [2, 17, 68]. Diese sind durch die Drucksteigerung im geschlossenen Fascienraum und daraus resultierendem Zusammenbruch der Mikrozirkulation bedingt [7]. Auch die Fixation in Spitzwinkelstellung kann den Blutfluss der Arteria brachialis beeinträchtigen und durch Behinderung der Expansion der anschwellenden Muskeln ein Kompartmentsyndrom auslösen [7, 17, 20]. Das auch neurovegetative Mechanismen an der Entstehung eines Kompartmentsyndroms beteiligt sein können, legen Untersuchungen von Uebermuth und Bertolini nahe, die durch Überdehnung des Nervus medianus bei Rhesusaffen ischämische Kontrakturen verursachten [66]. Ob die Störung der Blutversorgung der Muskulatur zur Nekrose führt, ist nicht von ihrer Genese, sondern von ihrer Dauer abhängig [17]. Völlige Unterbrechung der Blutzufuhr führt innerhalb weniger Stunden zur Nekrose, Beeinträchtigung der kapillären oder venösen Zirkulation kann bis zu 24 bis 48 Stunden toleriert werden [17]. Ist das kritische Zeitfenster überschritten, so kommt es zum nekrotischen Zerfall der Muskulatur mit an-

schließendem fibrösen Ersatz [17, 20, 65]. Die Ischämie schädigt auch die Nerven des Unterarmes [17].

Frühsymptome des beginnenden Kompartmentsyndroms sind zunehmende Schmerzen, beginnende Bewegungseinschränkung, Schwellung und blass-livide Verfärbung der Finger, sowie beginnendes Kältegefühl [7, 17, 20]. Später kommen Puls- und Gefühllosigkeit und sich ausprägende Lähmung der Hand dazu [17, 20]. Treten diese Symptome auf, so bedürfen sie unverzüglich kausaler Behandlung, die aus Abnahme aller schnürenden Verbände, Aufhebung einer Spitzwinkelstellung, Reposition einer bestehenden Dislokation, Entleerung eines ausgeprägten Hämatoms der Ellenbeuge und gefäßchirurgischer Versorgung der Gefäßverletzungen besteht [7, 17, 20]. Führt dieses nicht umgehend zum Rückgang der Symptome, ist die sofortige ausgedehnte Fasciotomie zur Druckentlastung vorzunehmen [17, 20, 68]. Zur Vorbeugung des Kompartmentsyndroms sollte möglichst rasch nach dem Unfall schonend reponiert werden, angelegte Gipsverbände sind bis auf die letzte Faser zu spalten, primäre Gefäßverletzungen müssen sorgfältig behandelt und die Durchblutung, Sensibilität und Motorik des verletzten Armes regelmäßig überprüft werden [2, 7, 68]. In Messungen an Kindern mit dislozierten Frakturen ohne Kompartmentsyndrom vor und nach Reposition fanden Battaglia et al. [67] eine signifikante Senkung des Kompartimentdrucks nach Reposition. Der Effekt war größer, wenn geschlossen reponiert wurde. Wurde der Arm anschließend bis 120° gebeugt so kam es zu signifikantem Anstieg des Druckes, bei Flexionswinkeln bis 90° war dies nicht der Fall.

Ist eine Volkmann'sche Kontraktur eingetreten, so kann in leichten bis mittelschweren Fällen eine Quengelverbandbehandlung die Kontraktur bessern, schwere Fälle müssen operativ behandelt werden [7, 68].

1.1.7.2.3 Wundinfektionen

Offene Reposition und Einbringen von Kirschner-Drähten birgt ein Infektionsrisiko, die Inzidenz ist allerdings niedrig [9]. Das Versenken der Drähte unter die Haut senkt das Infektionsrisiko nicht [8, 10]. Die Häufigkeit von oberflächlichen Wundinfektionen nach Kirschner-Draht-Spickung liegt bei 0% bis 4,5% [7, 10, 59, 60]. Zu tiefen Infektionen der Weichteile oder Osteomyelitis kommt es extrem selten [18].

1.1.7.2.4 Sekundäre Dislokation

Die Häufigkeit der sekundären Dislokation einer primär nicht dislozierten oder gut reponierten Fraktur wird mit 6% bis 27% angegeben [10, 40, 51, 69, 70, 71]. Meist kommt es

unter konservativer Ruhigstellung der Fraktur, besonders im Gipsverband oder auch in der Blount'schen Schlinge, zur sekundären Dislokation [10, 46, 51, 70], sie kann aber auch nach Fixation mit Kirschner-Drähten auftreten [10, 69].

1.1.7.2.5 Cubitus varus, Cubitus valgus

Die Veränderung der Ellenbogenachse im Sinne eines Cubitus varus ist die häufigste Komplikation der suprakondylären Humerusfraktur [2, 14, 20]. Meist handelt es sich hierbei um ein rein kosmetisches Problem [17]. In 11,7% bis 50% [7, 10, 17, 44] kommt es zur Verminderung des physiologischen Cubitus valgus bzw. zum echten Cubitus varus. Ein Cubitus hypervalgus ist sehr viel seltener, er tritt in 3% bis 7,2% [7, 10, 17, 44] auf. Ursache für die Änderung der Ellenbogenachse ist ein Abkippen des distalen Fragmentes in der Frontalebene [14, 17, 20]. Dieses kann auf primärer Einstauchung oder Abkippen beruhen oder, was die häufigste Ursache ist, sekundär, auf Grund eines Rotationsfehlers, entstehen [15]. Die Rotation führt dazu, dass der Kontakt zwischen den Kondylenpfeilern verloren geht und die Fragmente nur noch im Bereich der Lamelle der Fossa olecrani auseinander stehen, was ein Abkippen, meist nach ulnar in den Cubitus varus, provoziert [20]. Begünstigt wird die Rotation, und damit das Entstehen eines Cubitus varus, durch Immobilisation des Armes im Oberarmgips vor dem Körper und durch Supinationsstellung [2, 20, 24, 42]. Nach von Laer [20, 32] kann bei Schrägfrakturen, auf Grund der Neigung der Frakturebene, der Rotationsfehler direkt zu einer Änderung der Ellenbogenachse führen, Smith lehnt dies ab [14]. Wie später noch genauer erläutert, sind nennenswerte Wachstumsstörungen nach suprakondylären Humerusfrakturen nicht zu erwarten, hierin liegt also keine wesentliche Ursache für eine Änderung der Ellenbogenachse [16, 32].

Zur Vermeidung der Änderung der Ellenbogenachse ist akkurate Reposition, rotationsstabile Fixation und rechtzeitige Diagnose und Behandlung einer sekundären Dislokation nötig. Die Schwierigkeit besteht darin, dass der Rotationssporn bei Überlagerung durch den Gips schwer zu sehen sein kann. Außerdem zeigen Untersuchungen verschiedener Autoren, dass sich der Baumannwinkel nur bedingt zur radiologischen Einschätzung der Ellenbogenachse eignet, da er bei einer Toleranzbreite von 5° nur zu 50% bis 77% mit der klinisch gemessenen Achse übereinstimmt [32, 72] und sich durch reine Rotation ohne Abkippen in der Frontalebene auch ändert [73].

1.1.7.2.6 Bewegungseinschränkungen

Die funktionellen Ergebnisse nach suprakondylären Humerusfrakturen werden in 61% bis 94% der Fälle mit gut und sehr gut angegeben [7, 10, 17, 46, 59, 60]. Bewegungseinschränkungen können aus Verletzung der Gelenkkapsel und Muskulatur und der daraus resultierenden Narbenbildung entstehen. Die Weichteile können durch die Fraktur selbst, durch Repositionsmanöver und operative Eingriffe geschädigt werden [14, 17]. Wilkins warnt besonders vor der Nutzung eines dorsalen Zugangs, da dieser bisher unverletztes Gewebe schädigt und so zu Bewegungseinschränkung durch Narbenbildung führt [8]. Auch Fehlstellungen in der Sagittalebene können zur Einschränkung der Ellenbogenbeweglichkeit führen. Meist verschieben Ante- oder Rekurvation die Beweglichkeit nur in Richtung Extension bzw. Flexion [17]. Antekurvation des distalen Humerus ist aber auch häufig mit einer Abflachung der Fossa olecrani verbunden, welche das Olecranon dann nicht mehr vollständig aufnehmen kann, was zur Einschränkung der Extension führt [17].

1.1.7.2.7 Wachstumsstörungen

Nach Frakturen kann eine Wachstumsstimulation im distalen Humerus beobachtet werden, die Knochenkerne wachsen beschleunigt und es kann zur Stimulation der Epiphysenfuge kommen [2, 15]. Diese Vorgänge werden meist im Laufe der Zeit wieder ausgeglichen und führen zu keiner Alteration des Ellenbogens [2, 20]. Wachstumsstörungen mit vorzeitigem Fugenschluss sind bei starker Zertrümmerung der Epiphysenzone durch die Fraktur [2] oder als Folge mehrfacher Bohrversuche im Rahmen einer Osteosynthesetherapie möglich [15]. Nennenswerte Wachstumsstörungen sind aber ausgesprochen selten [2, 32]. Daraus ergibt sich, dass osteogene, sekundär entstandene Fehlstellungen, insbesondere der sekundäre Cubitus varus, bei suprakondylären Humerusfrakturen, welche die Epiphysenfuge nicht betreffen, extrem selten oder gar ausgeschlossen sind. Auch bei y-kondylären Frakturen, welche immer die Epiphysenfuge mitbetreffen, sind Wachstumsstörungen selten [2]. Diese Frakturen spalten das Kondylenmassiv zentral im Bereich zwischen beiden epiphysären Kernsystemen, was zu Minderwachstum oder Wachstumsstillstand führen kann, welcher in einer Fischeschwanzdeformität endet [15]. Je instabiler die Fraktur ist, desto eher schließt sich der zentrale Fugenbereich vorzeitig und durch Stimulation insbesondere der radialeseitigen Fuge kommt es zur Fischeschwanzdeformität [15]. Diese bezeichnet eine Deformität des distalen Humerus mit Einziehung der Trochleataille ohne klinische Relevanz [74].

1.1.7.2.8 Pseudarthrose

Die Knochenheilung im Wachstumsalter erfolgt meist sekundär über Kallusbildung [20]. Voraussetzung für die Frakturstabilität ist, dass die Kallusbildung im gesamten Frakturbereich stattfindet, ungleichmäßige Druck- und Zugbelastung der Fragmente über die Fracturebene kann dieses stören [20]. Im Ellenbogenbereich treten Pseudarthrosen praktisch nur nach Frakturen des Condylus radialis auf, sie sind bei y-kondylären Frakturen also möglich, während sie bei suprakondylären Frakturen eine Seltenheit sind [1, 20].

1.1.7.2.9 Myositis ossificans

Die partielle Verknöcherung der Muskulatur kann sich nach Verletzung des Muskels durch die Fraktur, bei Organisation des entstandenen Hämatoms, aber auch auf Grund von forcierten Bewegungen bei der Physiotherapie ausbilden [2, 5, 20]. Insgesamt handelt es sich dabei um eine sehr seltene Komplikation [5, 17].

2 Material und Methoden

2.1 Patientengut

Durch Sichtung der Erste-Hilfe-Scheine der Kinderrettungsstelle und Nutzung des digitalen Patientenerfassungsprogramms „Gustav“ wurden alle Patienten der Kinderchirurgischen Klinik des Universitätsklinikums Charité mit den Diagnosen suprakondyläre und y-kondyläre Humerusfraktur im Zeitraum vom 01.04.1996 bis 30.04.2001 erfasst.

Als ambulante Patienten wurden die in die Studie aufgenommen, welche über die Versorgung in der Rettungsstelle hinaus mindestens einmal in der Kinderchirurgischen Poliklinik der Charité nachkontrolliert wurden. Von diesen 55 Kindern konnte eine ambulante Patientenakte gefunden werden. 133 Kinder wurden nur in der Rettungsstelle versorgt und in die Weiterbehandlung durch einen niedergelassenen Arzt übergeben, sie wurden nicht in die Studie aufgenommen.

Der Gruppe der stationären Patienten wurden alle stationär in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité behandelten Fälle zugeordnet. In dieser Gruppe befinden sich 119 Patienten, von denen aber vier Kinder zweimal behandelt wurden, so dass es zu einer Fallzahl von 123 Fällen kommt. Es gibt sowohl konservativ als auch operativ behandelte Fälle in der Gruppe der stationären Patienten. Unter operativer Therapie werden in der vorliegenden Arbeit alle Behandlungen verstanden, die eine Allgemeinnarkose beinhalten.

Die Gesamtzahl der studienrelevanten Fälle beläuft sich somit auf 178. Darunter waren

101 Jungen und 77 Mädchen im Alter von einem bis zu 13 Jahren.

Anhand einer vorher erstellten Checkliste wurden retrospektiv die Daten und klinischen Verläufe aus den Krankengeschichten und Ambulanzakten ermittelt.

Alle vorhandenen Röntgenbilder der stationär behandelten Patienten wurden bezüglich Dislokationsrichtung und -ausmaß nachbefundet, es wurden der Baumannwinkel, der Epiphysenachsenwinkel und ggf. der Winkel zwischen Humerusschaft und disloziertem Fragment und der Rotationsfehlerquotient bestimmt.

Die stationär behandelten Patienten wurden angeschrieben, mit der Bitte zu einer Nachkontrolle für diese Studie zu erscheinen. Wegen Wechsel des Wohnsitzes konnten 29 Patienten (23,6%) nicht erreicht werden. Von den erfolgreich angeschriebenen 94 Fällen kamen 40 (42,6%) zu Nachuntersuchung, was einem Anteil von 32,5%, bezogen auf alle stationären Fälle, entspricht.

2.2 Nachuntersuchung

Bei der Nachuntersuchung wurden die Patienten bzw. deren Eltern zum weiteren Verlauf der Krankheitsgeschichte, zu etwaigen Problemen und zur Zufriedenheit mit dem Behandlungsergebnis befragt. Die Funktion und das Aussehen des Ellenbogens sollten subjektiv auf einer Skale von völlig zufrieden über im Allgemeinen zufrieden, eher unzufrieden bis völlig unzufrieden beurteilt werden. In der Checkliste fehlende Daten wurden anamnestisch nacherhoben. Beide Ellenbogen des Kindes wurden nach der Neutral-Null-Methode untersucht, der Ellenbogenachsenwinkel ermittelt und die Arme anthropometrisch vermessen. Die Kraft des Faustschlusses durch Zusammendrücken einer handelsüblichen Kinderblutdruckmanschette, die zusammengerollt und auf 20 mmHg aufgepumpt worden war, eingeschätzt. Zur Messung des Bewegungsumfangs und des Ellenbogenachsenwinkels wurde ein Goniometer benutzt. Die Ausprägung der Kondylen und die Narbenverhältnisse wurden beurteilt. Besondere Bedeutung kam der Erfassung von Durchblutungsstörungen, sensibler und motorischer Auffälligkeiten zu. Basierend auf den Nachuntersuchungsergebnissen wurde der Behandlungserfolg angelehnt an die Methode nach Flynn et. al. [60] bewertet (Tabelle 2). Als funktioneller Faktor ging der Verlust der Beweglichkeit in Flexion/Extension bzw. Pronation/Supination im Vergleich zum unverletzten Arm, als kosmetischer Faktor das Abweichen der Ellenbogenachse von der des gesunden Armes ein. Die Beurteilung „exzellent“ wurde nicht vergeben, wenn trotz Beweglichkeitsverlustes $<5^\circ$ die Neutralstellung im Ellenbogengelenk nicht erreicht werden konnte.

Die Gesamtbeurteilung des Behandlungsergebnisses erfolgte nach dem Beurteilungsparameter mit der schlechteren Wertung.

Tabelle 2: Beurteilungsschema für die objektive Beurteilung des Behandlungsergebnisses angelehnt an Flynn et. al. [60]

Beurteilung	Funktioneller Faktor: Beweglichkeitsverlust	Kosmetischer Faktor: Abweichen der Ellenbogenachse
exzellent	0-5°	0-5°
gut	6-10° bzw. Neutralstellung unmöglich	6-10°
mäßig	11-15°	11-15°
ungenügend	>15°	>15°

2.3 Datenverarbeitung

Alle retrospektiv und mittels Nachuntersuchung erhobenen Daten wurden mit dem Datenverarbeitungsprogramm SPSS for Windows, Version 10.0, ausgewertet. Weiterhin kamen die Programme Microsoft Excel 2000 zur Tabellendarstellung und Microsoft Word 2000 zum Abfassen der Arbeit zur Anwendung.

Daten, die in der Form $x \pm y$ angegeben sind, bezeichnen Mittelwert \pm einfache Standardabweichung.

Fehlende Daten sind in den Tabellen unter „Fehlend“ oder „Fehlender Wert“ aufgeführt. Die Daten von Patienten mit y-kondylärer Humerusfraktur sind, wo dies von Interesse ist, mit # gekennzeichnet, pro Patient ein #. Die Daten von primär nicht in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité behandelten Patienten sind, wo dies von Interesse ist, mit * gekennzeichnet, pro Patient ein *.

3 Ergebnisse

3.1 Patientengut

Im Zeitraum vom 01.04.1996 bis zum 30.04.2001 wurden 174 Patienten wegen einer suprakondylären oder y-kondylären Humerusfraktur in der Kinderchirurgischen Klinik des Universitätsklinikums Charité ambulant versorgt und weiterbehandelt bzw. stationär betreut. Vier der stationären Patienten wurden in diesem Zeitraum zweimal wegen einer dieser Frakturformen therapiert. Die Gesamtfallzahl beträgt dadurch 178 Fälle.

Unter den behandelten Kindern waren 101 (56,7%) Jungen und 77 (43,3%) Mädchen im Alter von einem bis zu dreizehn Jahren. Die meisten Kinder waren drei Jahre alt (19,1% der Fälle), gefolgt von den Fünfjährigen (15,7%) und Sechsjährigen (12,4%) (Tabellen 3, Abbildung 10). Das Durchschnittsalter lag bei 5,4 Jahren.

Tabelle 3: Alter bei Unfall

	Alter in Jahren	Häufigkeit	Gültige Prozente
	1	9	5,1
	2	13	7,3
	3	34 # #	19,1
	4	12	6,7
	5	28	15,7
	6	22 #	12,4
	7	16	9
	8	17 #	9,6
	9	14	7,9
	10	10 # #	5,6
	11	1	0,6
	12	1	0,6
	13	1	0,6
Gesamt		178	100,2

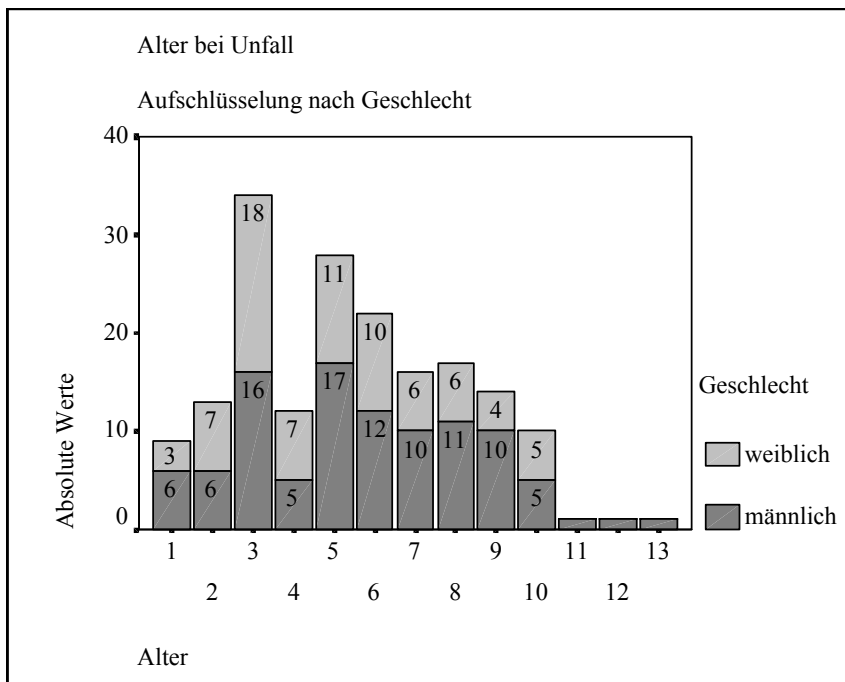


Abb. 10: Alter bei Unfall aufgeschlüsselt nach Geschlecht

Balken ohne Beschriftung zeigen eine Häufigkeit von eins

3.2 Unfallursachen

Die **jahreszeitliche Verteilung** der Frakturen zeigt eine Betonung der Monate April bis September (Abbildung 11).

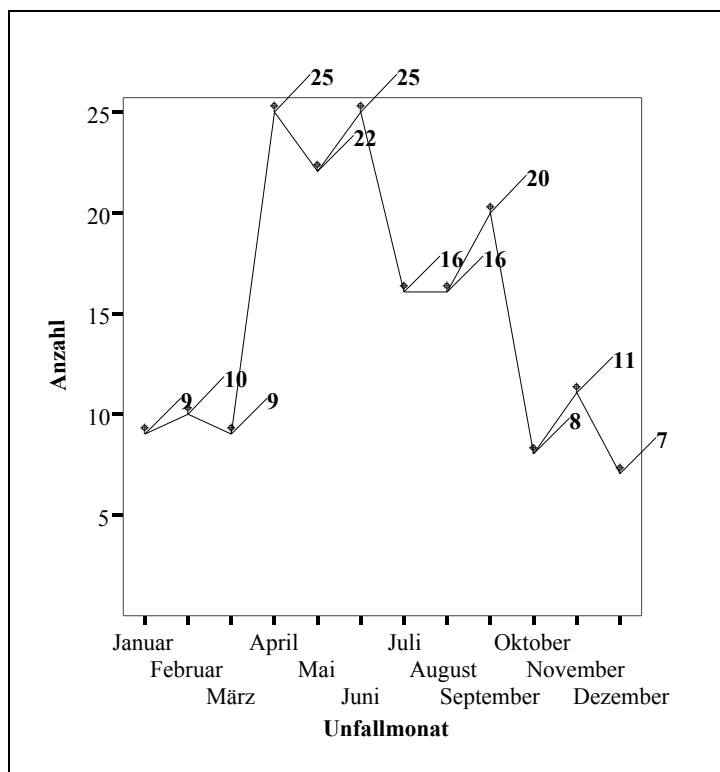


Abb. 11: Jahreszeitliche Verteilung der Unfälle

Punkte zeigen Häufigkeiten an

In 140 Fällen ist die **Unfalluhrzeit** bekannt (Tabelle 4). Der Großteil der Unfälle ereignete sich am Nachmittag. Etwa gleich viele Kinder verunfallten am Vormittag bzw. am Abend. Nur ein Patient zog sich seine Fraktur nachts zu.

Tabelle 4: Unfalluhrzeit

	Unfalluhrzeit	Häufigkeit	Gültige Prozente
	6 - 12 Uhr	30	21,4
	12 - 18 Uhr	77	55
	18 - 22 Uhr	32	22,9
	22 - 6 Uhr	1	0,7
Gesamt		140	100
Fehlende Werte		38	
Gesamt		178	

Die **Art des Unfalls** konnte in 168 Fällen ermittelt werden. 70,8% der Kinder verletzten sich bei einem Sturz aus der Höhe den Arm, 19% stürzten zu ebener Erde, 8,3% verunfallten mit dem Fahrrad (Tabelle 5). Bei zwei Kinder entstand die Fraktur durch Gewaltanwendung anderer und ein Patient verdrehte sich den Arm. Von den 119 Fällen des Sturzes

aus der Höhe, sind nur 40 Höhenwerte bekannt. Der größte Teil der Patienten fiel aus einer Höhe von 0,5-1 Metern. Die größte Sturzhöhe betrug ca. 10m.

Tabelle 5: Unfallart aufgeschlüsselt nach Fallhöhe

	Unfallart		Häufigkeit	Häufigkeit	Gültige %	Gültige %
	Fall zu ebener Erde		32			19
	Fall aus Höhe		119			70,8
		Höhe:				
		<0,5m		5	12,5	
		0,5-1m		18 #	45	
		1-2m		12 # #	30	
		>2m		5	12,5	
		Gesamt		40	100	
		Fehlend		79 # # #		
		Gesamt		119		
	Fahrradunfall		14			8,3
	Vd. Nonacc./Gewalt		2			1,2
	Arm verdreht		1			0,6
Gesamt			168			99,9
Fehlend			10			
Gesamt			178			

Vd.Nonacc. = Verdachtsdiagnose Nonaccidental Trauma

Der **Unfallhergang** ist in 166 Fällen genauer bekannt. Der Großteil der Kinder stürzte vom Klettergerüst oder einem anderen Spielplatz- oder Spielgerät (62=37,3%). 31 Kinder verunfallten bei Sturz von einem Möbel (=18,7%). Beim Stolpern zu ebener Erde brachen sich 30 Kinder den Arm (18,1%). Die Fahrradunfälle verursachten in 14 Fällen die Fraktur (8,4%). Die selteneren Unfallhergänge sind in Tabelle 6 mitenthalten.

Tabelle 6: Genaue Beschreibung des Unfalls

	Unfallart	Unfallbeschreibung	Häufigkeit	Gültige %
	Fall/Sturz	Stolpern	30	18,1
		Inlineskatesturz	2	1,2
	Fall aus Höhe	Klettergerüststurz	28 # # #	16,9
		Sturz von Stuhl o.ä.	15 #	9
		Sturz von Rutsche	14 #	8,4
		Sturz von Schaukel	10	6
		Hochbettsturz	8	4,8
		Sturz von Spielgerät	7	4,2
		Sturz von Tisch o.ä.	5	3
		Sturz von Sportgerät	5 #	3
		Sturz von Bett	3	1,8
		Sturz von Baum	3	1,8
		Sturz von Wippe	3	1,8
		Sturz von Arm/Rücken	3	1,8
		Sturz von Zaun o.ä.	3	1,8
		Sturz von Pferd	3	1,8
		Balkon-/Fenstersturz	2	1,2
		Sturz von Klopfstange	2	1,2
		Treppensturz	1	0,6
		Sturz von Mülltonne	1	0,6
		Sturz von Karussell	1	0,6
		nicht näher bezeichnet	2	
	Fahrradunfall	Fahrradsturz	13	7,8
		von PKW angefahren	1	0,6
	Vd.Nonaccidental Trauma/Gewalt	von Mitschüler verletzt	1	0,6
		laut Eltern gestolpert	1	0,6
	Arm verdreht		1	0,6
Gesamt			166	99,8
Fehlend			12	
Gesamt			178	

Vd. = Verdachtsdiagnose

Angaben zum **Unfallort** lagen in 136 Fällen vor. Die meisten Unfälle ereigneten sich zu Hause und auf dem Spielplatz. Auch in der Kita und der Schule kam es häufig zum Fraktur bedingenden Unfall. Weitere Unfallorte sind in Tabelle 7 miterfasst.

Tabelle 7: Unfallort

	Unfallort	Häufigkeit	Gültige Prozente
	zu Hause	36 #	26,5
	Spielplatz	35 # #	25,7
	Kita	19	14
	Schule	18 # #	13,2
	Straße	13	9,6
	Hort	6	4,4
	Turnhalle	5	3,7
	Park	1	0,7
	Feld	1	0,7
	Rummelplatz	1	0,7
	Praxiswarteraum	1	0,7
	Gesamt	136	99,9
Fehlende Werte		42 #	
Gesamt		178	

Ein **D-Arztverfahren** wurde in 46 Fällen (27,1%) eingeleitet, 124 Fälle (72,9%) verlangten kein solches Verfahren und in acht Fällen ist nicht bekannt, ob das Kind vom D-Arzt gesehen werden musste.

3.3 Frakturen

Es traten 172 suprakondyläre (96,6%) und sechs y-kondyläre (3,4%) Humerusfrakturen auf. Die Einteilung der **Dislokation nach Baumann** ergab in 63 Fällen (35,4%) Baumann I, in 59 Fällen Baumann II (33,1%) und 56 mal Baumann III (31,5%) (Tabelle 8). Die weitere Einteilung der y-kondylären Frakturen nach der Dislokation der Kondylenfragmente untereinander ergab nach Riseborough und Radin vier mal Grad I und zwei mal Grad II.

Tabelle 8: Baumannklassifikation der einzelnen Frakturen

Fraktur-Typ	Baumann-Klassifikation			Gesamt
	Baumann I	Baumann II	Baumann III	
suprakondylär	62	56	54	172
y-kondylär	1	3	2	6
Gesamt	63	59	56	178

In der Gruppe der suprakondylären Humerusfrakturen gab es eine 1° offene und eine 2° **offene Fraktur**. Alle anderen Frakturen waren geschlossen.

In 113 Fällen ist bekannt, ob es sich um eine **Extensions- oder Flexionsfraktur** handelte.

92% (104 Fälle) waren Extensionsfrakturen, die restlichen 8% (9 Fälle) Flexionsfrakturen.

Die **Seitenverteilung** der Frakturen war wie folgt: 91 Kinder (51,1%) hatten sich den linken Arm gebrochen, 87 (48,9%) den rechten. Bei den nachuntersuchten Kindern und einem weiteren Patienten ist bekannt, welche Hand die bevorzugt benutzte war, 21 mal (51,2%) wurde der dominante Arm gebrochen und 20 Mal (48,8%) der nicht dominante.

Die subjektive Einschätzung des Ausmaßes der **Schwellung** der Ellenbogenregion zum Aufnahmezeitpunkt durch den behandelnden Arzt ist in 89 Fällen bekannt. 56 Kinder (62,9%) wiesen eine deutliche, 25 (28,1%) eine massive, 6 (6,7%) eine geringe und 2 (2,2%) eine mäßige Schwellung auf.

Für 24 Kinder war der Bruch des Ellenbogens nicht die erste Fraktur in ihrem Leben.

3.4 Assoziierte Verletzungen

Neben ihrer suprakondylären Humerusfraktur hatten sich fünf Kinder den Radius gebrochen, drei den Unterarm und eines die Ulna, bei einem bestand der Verdacht auf eine Radiusköpfchenluxation, ein Kind war polytraumatisiert. Ein Kind mit y-kondylärer Fraktur hatte zusätzlich den Radius gebrochen. All diese Kinder waren durch einen Sturz aus der Höhe verunfallt.

Nervale Störungen traten unmittelbar posttraumatisch bei neun Kindern mit dislozierter suprakondylärer Fraktur auf. Am häufigsten (6 Fälle) war die Sensibilität im Versorgungsgebiet des entsprechenden Nervs betroffen, in drei Fällen zusätzlich die Motorik. Der Nervus medianus war viermal, der Nervus ulnaris und Nervus radialis jeweils zweimal gestört. Ein Kind wies Sensibilitätsstörungen in allen drei Nerven und eine motorische Störung des Nervus medianus auf (Tabelle 9).

Tabelle 9: Nervale Störungen aufgeschlüsselt nach Baumannklassifikation

	assozierte Nervenverletzungen	Baumann II		Baumann III	
		Häufigkeit	Gültige%	Häufigkeit	Gültige%
	keine	51	86,4	45	81,8
	Nervus ulnaris				
	Sensibilität gestört	2	3,4		
	Nervus medianus				
	Sensibilität gestört	2	3,4	1	1,8
	Sensibilität + Motorik gestört			1	1,8
	Nervus radialis				
	Sensibilität gestört			1	1,8
	Sensibilität + Motorik gestört			1	1,8
	Sensibilität aller drei Nerven + Motorik Nervus medianus gestört			1	1,8
	nicht/schwer beurteilbar	4	6,8	5	9,1
Gesamt		59	100	55	99,9
Fehlend				1	
Gesamt		59		56	

Durchblutungsstörungen traten ebenfalls nur bei dislozierten suprakondylären Frakturen auf, insgesamt kam es siebenmal zu Störungen der Durchblutung des verletzten Armes (Tabelle 10).

Tabelle 10: Durchblutungsstörungen aufgeschlüsselt nach Baumannklassifikation

	assozierte Durchblutungsstörung	Baumann II		Baumann III	
		Häufigkeit	Gültige%	Häufigkeit	Gültige%
	keine	58	98,3	49	89,1
	Radialispuls schwächer			2	3,6
	Radialis- und Ulnarispuls schwächer	1	1,7		
	kein Radialispuls			2	3,6
	kein Puls Arteria brachialis in der Ellenbeuge			2	3,6
Gesamt		59	100	55	99,9
Fehlend				1	
Gesamt		59		56	

3.5 Diagnostik

Bei allen Kindern wurde der verletzte Arm initial geröntgt (Tabelle 11). In der überwiegenden Zahl der Fälle wurde eine a.p. und eine seitliche Aufnahme des Ellenbogens angefertigt (83,9%). Bei begleitenden Verletzungen oder dem Verdacht auf eine Begleitverletzung wurden zusätzlich der Unter- bzw. Oberarm geröntgt. Acht Kinder bekamen Aufnahmen des Unter- und/oder Oberarmes in zwei Ebenen, auf denen der verletzte Ellenbogen mit abgebildet war. In acht Fällen wurde der Ellenbogen nur in einer Ebene geröntgt, diese Aufnahmen waren Fremdaufnahmen aus den Praxen oder Krankenhäusern, in denen die Kinder primär vorgestellt worden waren. Bei keinem Kind wurde eine Vergleichsauf-

nahme des gesunden Armes angefertigt.

Tabelle 11: Initiales Röntgenbild

	initiales Röntgen	Häufigkeit	Gültige %
	Ellenbogen 2 Ebenen	146 # # # #	83,9
	Ellenbogen + Unterarm je 2 Ebenen	9	5,2
	Ellenbogen seitlich	6 #	3,4
	Unterarm 2 Ebenen	3	1,7
	Oberarm 2 Ebenen	3	1,7
	Ellenbogen + Oberarm je 2 Ebenen	2	1,1
	Oberarm + Unterarm je 2 Ebenen	2	1,1
	Ellenbogen a.p.	2	1,1
	Unterarm 2 Ebenen + Ellenbogen seitlich	1	0,6
	Gesamt	174	99,8
Fehlend		4 #	
Gesamt		178	

Im weiteren Behandlungsverlauf wurde bei neun Kindern mit suprakondylärer Fraktur, neben konventionellen Röntgenaufnahmen, **weiterführende Diagnostik** notwendig. Bei drei Kindern wurden die Gefäße des Armes dopplersonographisch untersucht, zweimal auf Grund initialer Durchblutungsstörungen, einmal, um intraoperativ Klarheit über die vorher nicht prüfbare Perfusionssituation zu erhalten. Ein Kind bekam eine MRT-Untersuchung des Ellenbogens bei Narbenbruch mit assoziierter Sensibilitätsstörung. Zwei Kinder mit Fehlstellung und Bewegungseinschränkung erhielten, zur Abklärung der knöchernen und weichteiligen Verhältnisse, ein MRT bzw. ein MRT und ein CT. Die Gefäße eines Patienten mit Kompartmentsyndrom wurden mittels Dopplersonographie und Digitaler Subtraktionsangiographie (DSA) dargestellt, er erhielt außerdem eine Elektromyographie (EMG). Ein Patient wurde wegen anhaltender initialer Nervenstörung elektromyographisch untersucht. Bei einem Kind mit initial nicht prüfbarer Sensibilität und Motorik und postoperativ festgestellter kombinierter Radialis- und Medianusschwäche, die sich nur zögerlich besserte, wurde ein EMG veranlasst.

3.6 Therapie

169 Kinder wurden noch am Unfalltag bei einem Arzt vorgestellt, neun Patienten erst an einem späteren Tag.

114 Patienten kamen direkt in die Kinderchirurgische Klinik der Charité und wurden dort behandelt. 56 Patienten stellten sich zuerst bei einem niedergelassenen Arzt oder in einem anderen Haus vor, sechs von ihnen wurden dort auch primär behandelt, alle anderen wurden, gegebenenfalls nach Röntgenaufnahme und Ruhigstellung der Fraktur, an das Univer-

sitätsklinikum überwiesen. Vier der auswärtig behandelten Kinder bekamen eine operative, zwei eine konservative Therapie, alle wurden wegen auftretender Komplikationen sekundär in der Charité stationär behandelt. Bei acht primär in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité behandelten Patienten ist nicht bekannt, ob sie sich vorher in einer anderen medizinischen Einrichtung vorgestellt hatten.

Die Gruppe der ambulant in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité behandelten Kinder umfasst 55 konservativ behandelte Patienten, darunter 54 mit suprakondylärer Baumann I Fraktur und eines mit suprakondylärer Baumann II Fraktur. Unter den stationären Kindern wurden sieben (5,7%) konservativ und 116 (94,3%) operativ versorgt. Sechs der konservativ behandelten Patienten hatten eine suprakondyläre Baumann I Fraktur, einer eine suprakondyläre Baumann II Fraktur. Unter den primär operativ in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité behandelten Frakturen waren eine suprakondyläre Baumann I Fraktur, 53 suprakondyläre Baumann II, 52 suprakondyläre Baumann III, drei y-kondyläre Baumann II Frakturen und eine y-kondyläre Baumann III Fraktur. Sekundär operativ behandelt wurden je eine auswärts konservativ versorgte suprakondyläre Baumann I und y-kondyläre Baumann I Fraktur, sowie auswärts primär operativ behandelt eine suprakondyläre Baumann II, zwei suprakondyläre Baumann III Frakturen und y-kondyläre Baumann III Fraktur. Somit wurden in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité insgesamt 62 Frakturen (34,8 %) konservativ behandelt, während die restlichen 116 Frakturen (65,2%) eine operative Therapie benötigten, sechs davon in Sekundärtherapie (Tabelle 12).

Tabelle 12: Behandlung aufgeschlüsselt nach Frakturtyp und Baumannklassifikation

		Baumann	Behandlung			Gesamt
			ambulant	stationär		
			konservativ	konservativ	operativ	
Typ	suprakondylär:	Baumann I	54	6	2*	62
		Baumann II	1	1	54*	56
		Baumann III			54**	54
	y-kondylär:	Baumann I			1 *	1
		Baumann II			3	3
		Baumann III			2*	2
Gesamt			55	7	116	178

Die **konservative Therapie** beinhaltete meist die Anlage einer Oberarmgipslonguette (33 Fälle = 53,2 %) oder einer Schlinge nach Blount (25 Fälle = 40,3%) (Tabelle 13). Bis auf zwei Patienten, die mit einer Blountschlinge versorgt wurden, hatten alle konservativ therapierten Kinder eine nicht dislozierte Fraktur.

Tabelle 13: Konservative Therapie, Aufschlüsselung des Therapieinhalts

	Art der Behandlung						
Inhalt konservative Th.	ambulant		stationär				auswärts
	Baumann I	BaumannII	Baumann I	Baumann II	Ges.	Gültige%	
OA-Gipslonguette	30		3		33	53,2	1
Blountsche Schlinge	20	1	3	1	25	40,3	
2 OA-Gipslonguetten	3				3	4,8	
Delta lite Verband	1				1	1,6	
Gipsverband							1 #
Gesamt	54	1	6	1	62	99,9	

Th. = Therapie, OA = Oberarm, Ges. = gesamt

Von den operativ primär in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité behandelten Kindern wurden 102 Patienten noch am Unfalltag, acht Kinder erst am Folgetag operiert. Unter den **operativen Therapievarianten** waren die offene oder geschlossene Reposition mit anschließendem Einbringen von gekreuzten Kirschner Drähten (KD) und die geschlossene Reposition mit Anlage einer Schlinge nach Blount die am häufigsten benutzten Verfahren (Tabelle 14). Die Patienten mit offener Fraktur wurden beide mit offener Reposition und zwei radialen und einem ulnaren KD behandelt. Ein Kind mit suprakondylärer Baumann I Fraktur erhielt in Narkose lediglich eine Durchleuchtung des Armes zur endgültigen Diagnose seiner Fraktur, es zählt trotzdem zu den operativ behandelten Patienten, da es eine Allgemeinnarkose erhielt und dieses als Definition für die operativ Therapie festgelegt wurde.

Tabelle 14: Operative Therapie, Aufschlüsselung des Therapieinhaltes

Inhalt der operativen Therapie	Baum. I	Baum. II	Baum. III	Ges.	Gültige%	auswärts
offene Repo+gekreuzte KD		14 #	23	37	33,6	
geschlossene Repo+gekreuzte KD		18 #	13	31	28,2	
geschlossene Repo+Blountsche Schlinge		11	1	12	10,9	2
offene Repo+2 radiale+1 ulnärer KD		1	8	9	8,2	
geschlossene Repo+OA-Gipslonguette		6 #		6	5,5	
geschlossene Repo+2 radiale+1 ulnärer KD		1	3	4	3,6	
geschlossene Repo+1 radialer+2 ulnare KD		1	2	3	2,7	
geschlossene Repo+2 OA-Gipslonguetten		2		2	1,8	
offene Repo+1 radialer+2 ulnare KD		1	1 #	2	1,8	
geschlossene Repo+2 KD (unbekannte Lage)			1	1	0,9	
geschlossene Repo+2 radiale KD		1		1	0,9	
nur intraoperative Durchleuchtung keine Repo	1			1	0,9	
zur Repo keine Angabe+gekreuzte KD			1	1	0,9	
Olecranonsschraube zur Extension						1 #
zur Repo keine Angabe+OA-Gipslonguette						1
Gesamt	1	56	54	110	99,9	4

Baum. = Baumann, Repo = Reposition, KD = Kirschner Draht, OA = Oberarm, Ges. = gesamt

Die **Reposition** erfolgte in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité in 60 Fällen geschlossen, primär wurden nur acht Frakturen offen reponiert (Tabelle 15). In 40 Fällen führte der Versuch der geschlossenen Reposition nicht zum gewünschten Ergebnis, so dass sich, nach einem oder mehreren Versuchen geschlossen zu reponieren, in der gleichen Narkose zum offenen Vorgehen entschlossen wurde. Die offene Reposition wurde in 45 Fällen von einem dorsalen Zugang (95,7%), einmal von einem ulnaren (2,1%), einmal von einem radialen und ulnaren (2,1%) und einmal von einem nicht bekannten Zugang aus vorgenommen.

Tabelle 15: Repositionsweise

		Baumann-Klassifikation				Ges.	Gültige%
		I	II	III			
Fraktur		geschl.	geschl.	geschl.	offen		
Reposition	geschlossen		40 # #	20		60	55,6
	primär offen		2 #	5	1	8	7,4
	offen nach 1 Versuch geschlossen		10	12 #	1	23	21,3
	offen nach 2 Versuchen		1	2		3	2,8
	offen nach 3 Versuchen			1		1	0,9
	offen nach x Versuchen		3	10		13	12
Gesamt			56	50	2	108	100
	keine	1				1	
Fehlend						1	
Gesamt						110	

geschl. = geschlossen, x = unbekannte Anzahl

Bis auf einen Fall ist die **Hospitalisationsdauer** der stationär behandelten Kinder bekannt (Abbildung 12). Meist waren es vier oder fünf Tage, der Durchschnitt liegt bei $5,98 \pm 5,3$ Tagen. Die 25iger Perzentile liegt bei vier, die 50iger Perzentile bei fünf und die 75iger Perzentile bei sieben Tagen. Je nach Schweregrad der Fraktur und Art der Reposition war die Aufenthaltsdauer unterschiedlich (Tabelle 16, 17). Im Anschluss an den Klinikaufenthalt kamen 109 Kinder zu ambulanten Nachkontrollen in die Kinderchirurgische Poliklinik des Universitätsklinikums, im Durchschnitt $5,61 \pm 2,7$ Mal. Zwölf Patienten kamen nicht zur Nachkontrolle und in zwei Fälle ist nicht bekannt, ob die Kinder ambulant in der Kinderchirurgischen Poliklinik der Charité oder auswärtig weiterbehandelt wurden (Abbildung 13).

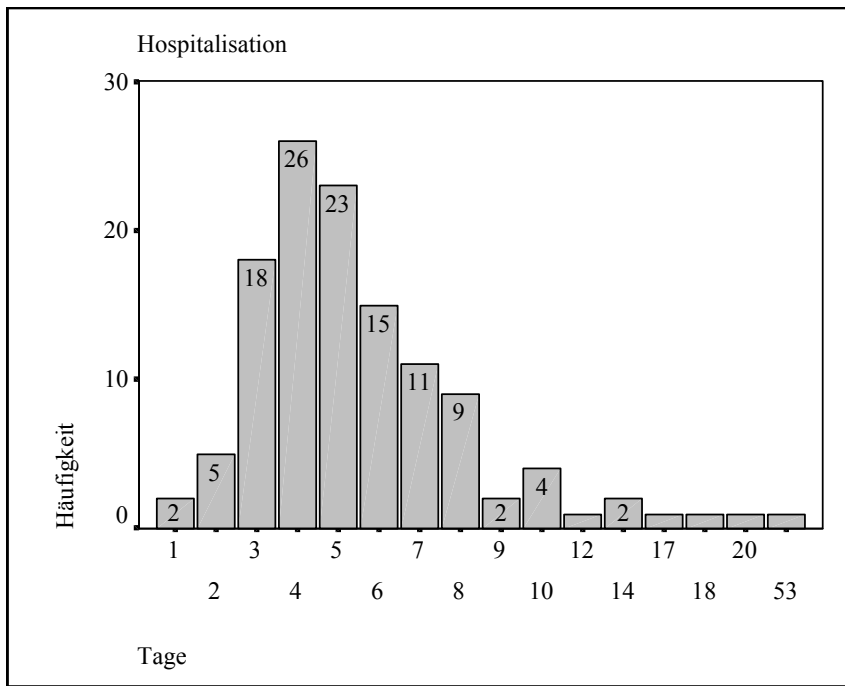


Abb. 12: Dauer der Hospitalisation

Balken ohne Beschriftung zeigen eine Häufigkeit von eins an

Tabelle 16: Dauer der Hospitalisation aufgeschlüsselt nach Baumannklassifikation

	Baumannklassifikation			alle Patienten
	Baumann I	Baumann II	Baumann III	
Durchschnitt	4,3	5,7	6,6	6
einfache Standardabweichung	1,3	6,9	3,4	5,3
Minimum	3	1	3	1
Maximum	7	53	20	53
25iger Perzentile	3	3	4	4
50iger Perzentile	4	4	5	5
75iger Perzentile	5	6	8	7
Patientenzahl	9	58	55	122

Tabelle 17: Dauer der Hospitalisation bei geschlossener bzw. offener Reposition

	geschlossene Reposition	offene Reposition
Durchschnitt	5,3	7
einfache Standardabweichung	3,3	7,3
Minimum	1	3
Maximum	20	53
25iger Perzentile	3	4
50iger Perzentile	4	6
75iger Perzentile	7	7
Patientenzahl	62	48

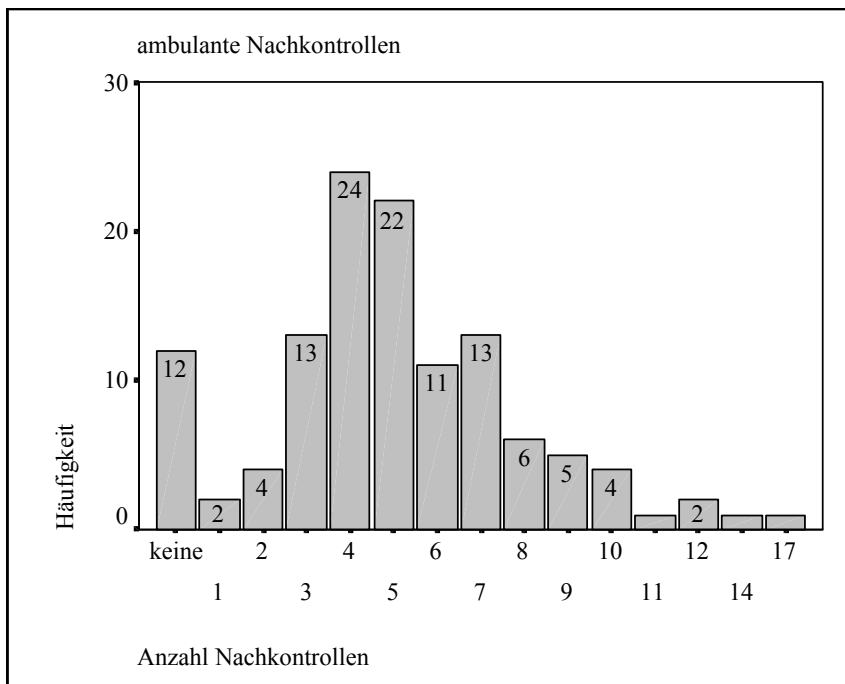


Abb. 13: Anzahl der ambulanten Nachkontrollen der stationär behandelten Patienten

Balken ohne Beschriftung zeigen eine Häufigkeit von eins

Die ambulant behandelten Kinder kamen, nach primärer Versorgung in der Rettungsstelle, durchschnittlich $3,51 \pm 1,6$ Mal zur Nachkontrolle in die Poliklinik (Abbildung 14).

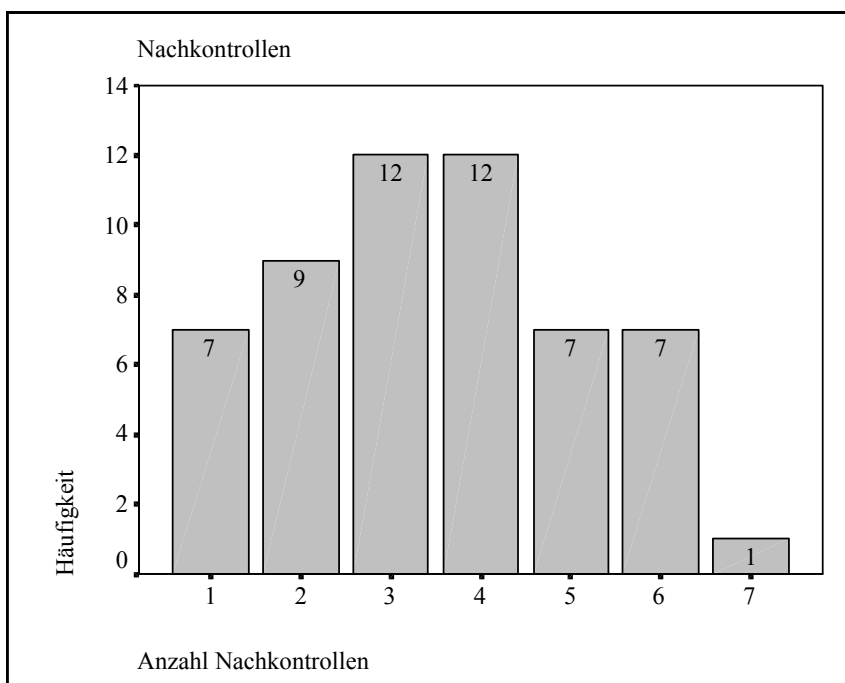


Abb. 14: Anzahl der Nachkontrollen der ambulant behandelten Patienten

Im gesamten Patientenkollektiv ist in 147 Fällen bekannt, wie lange der verletzte Arm immobilisiert blieb. Die **Immobilisationsdauer** betrug im Durchschnitt $30,71 \pm 7,7$ Tage. Die kürzeste Dauer betrug 15, die längste 62 Tage, wobei die 25iger Perzentile bei 25 Tagen,

die 50iger Perzentile bei 30 Tagen und die 75iger Perzentile bei 34 Tagen liegt. 26 Kinder (14,7%) erhielten während der Behandlung in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité einen **Wechsel der Immobilisationsweise**, zwei Patienten (1,1%) sogar zweimal, 150 Kinder (84,3%) behielten ihre Immobilisation bei. Die Art der Immobilisation, welche am häufigsten durch eine andere ersetzt wurde, war die Ruhigstellung in einer Oberarmgipslonguette (Tabelle 18).

Tabelle 18: Wechsel der Immobilisationsweise

		primäre Immobilisation				Gesamt
	Wechsel zu:	Blount	OA-Gipslong.	2 OA-Gipslong.	unbekannt	
	Delta lite/Dynacast Schiene	3	15	1	2	21
	Blount		1	1		2
	2 OA-Gipslong.		1			1
	OA-Gips	1				1
	OA-Gipslong.	1				1
	OA-Gipslong. dann Blount	1				1
	OA-Gipslong. dann Delta lite	1				1
Gesamt		7	17	2	2	28

OA = Oberarm, Gipslong. = Gipslonguette

Unter den 94 Kindern, die Kirschner Drähte zur Stabilisation der Fraktur eingebracht bekamen, war von 89 Fällen die **Verweildauer des Fremdmaterials** zu ermitteln. Im Durchschnitt betrug sie $45,18 \pm 16,5$ Tage mit einem Minimum von 22 und einem Maximum von 131 Tagen. Die 25iger Perzentile befindet sich bei 33 Tagen, die 50iger Perzentile bei 43,5 Tagen und die 75iger Perzentile bei 53,75 Tagen. Meist wurde das Material ambulant ohne Anästhesie oder ambulant in Allgemeinnarkose (= ambulant-operative ME) entfernt (Tabelle 19). 24 Kinder wurden zur Materialentfernung nochmals stationär aufgenommen, ihre Kirschner Drähte wurden in Allgemeinnarkose gezogen. Vier Kindern wurde ein Teil des Materials ambulant, der andere ambulant-operativ entfernt.

Tabelle 19: Art der Materialentfernung (ME)

	Materialentfernung	Häufigkeit	Gültige %
	ambulante ME	33	37,1
	ambulant-operative ME	28	31,5
	stationäre operative ME	24	27
	teils ambulante, teils ambulant-operative ME	4	4,5
Gesamt		89	100,1
Fehlend		5	
Gesamt		94	

Von allen Patienten bekamen 33 (18,5%) im Laufe ihrer Behandlung in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité **Physiotherapie** verordnet. 29 Kinder erhielten diese wegen einer Bewegungseinschränkung des Armes, zwei auf Grund nervaler Störungen und zwei wegen nervaler und Bewegungsstörungen.

3.7 Komplikationen und deren Therapie

Wie im Kapitel Assoziierte Verletzungen erwähnt, wiesen sieben Kinder initial eine Durchblutungsstörung des verletzten Armes auf. Bei allen Patienten kehrte die regelrechte Perfusion nach Reposition der Fraktur wieder.

Neun Kinder hatten initial eine Störung eines oder mehrerer Nerven, im Abschnitt Assoziierte Verletzungen genauer beschrieben. In den beiden Fällen, in denen die Funktion des Nervus ulnaris gestört war, wurde dieser intraoperativ besonders sorgfältig dargestellt. Auch im Fall der motorischen und sensiblen Nervus medianus Schwäche wurde der Nerv intraoperativ dargestellt und auf seine anatomische Intaktheit überprüft. Ansonsten wurde lediglich zugewartet. Eine der sensiblen Ulnarisläsionen war bis zum Ende des stationären Aufenthaltes verschwunden, die andere besserte sich und war im Laufe der ambulanten Nachkontrollen vollständig rückläufig. Die Störungen des Nervus medianus, bei denen ausschließlich die Sensibilität betroffen war, besserten sich während der stationären Behandlung komplett. Bei dem Kind mit sensibler und motorischer Medianusschwäche war während des Krankenhausaufenthaltes keine Rückläufigkeit festzustellen. Während der ambulanten Weiterbetreuung und unter Krankengymnastik konnte aber eine Besserung und schließlich ein Verschwinden der Symptomatik beobachtet werden. Das Kind mit sensibler Störung des Nervus radialis wurde beschwerdefrei aus der stationären Behandlung entlassen und die sensible und motorische Radialisschwäche eines anderen Patienten heilte ebenfalls ohne Residuen aus. Ein Patient wies bei Aufnahme eine kombinierte Störung der Nerven der Hand auf, die während des Krankenhausaufenthaltes nur bedingt rückläufig war. Auf Grund anhaltender Sensibilitätsstörung im Ulnarisbereich, wurde der ulnare der primär eingebrachten gekreuzten Kirschner-Drähte in einer Re-Operation entfernt und die Fraktur durch einen zweiten radialen Draht stabilisiert. Ambulant erhielt der Patient Physiotherapie und über einen Zeitraum von ungefähr neun Monaten waren alle Beschwerden vollständig rückläufig.

Nach vorheriger Therapie in anderen Krankenhäusern, wurden sechs Kinder wegen auftretender Komplikationen stationär in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité aufgenom-

men. Die jeweilige Primärtherapie, eingetretene Komplikation und deren Behandlung zeigt Tabelle 20.

Tabelle 20: Therapie der Komplikationen nach auswärtiger Primärbehandlung

Fraktur / Baum.	Komplikation	primäre Th.	Therapie der Komplikation
suprakond./ I	sekundäre Dislokation	OA-Gipslonguette	Re-Op:geschlossene Repo + gekreuzte KD
suprakond./ II	sekundäre Dislokation	zur Repo keine Angabe + OA-Gipslonguette	Re-Op:offene Repo (nach Versuch geschlossener) + gekreuzte KD
suprakond./ III	initiale Repo ungenügend (Rotationsfehler)	geschlossene Repo + Blount	Re-Op:primär offene Repo + 2 rad KD + 1 uln KD
suprakond./ III	sekundäre Dislokation	geschlossene Repo + Blount	Re-Op:geschlossene Repo + gekreuzte KD
y-kondylär / I	V.a. Pseudarthrose	Gipsverband	Re-Op:offene Darstellung + Zugschraube
y-kondylär / III	initiale Repo ungenügend (Fehlstellung)	Olecranon-schraube	Re-Op:primär offene Repo + 2 rad KD + 2 uln KD + 1 KD quer

Frakt. = Fraktur, Baum. = Baumann, Th. = Therapie, suprakond. = suprakondylär, perkond. = perkondylär, V.a. = Verdacht auf, Re-Op = Re-Operation, OA = Oberarm, Repo = Reposition, rad = radial, uln = ulnar, KD = Kirschner-Draht

Die Komplikationen, die erst in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité auftraten, sind im Folgenden dargestellt. Einige Patienten waren von mehreren, der hier im Einzelnen aufgeführten, Komplikationen betroffen. Völlig unkompliziert war der Verlauf der Therapie bei 53 (96,4%) der ambulanten Patienten und 57 (46,3%) der stationären Patienten. Teilt man die stationäre Patientengruppe weiter in zur Nachuntersuchung erschienene und nicht erschienene Patienten auf, so hatten von den nicht nachuntersuchten Kindern 48 (57,8%) und von den nachuntersuchten neun (22,5%) einen Verlauf ohne Auftreten von kleineren oder schwerwiegenderen Komplikationen.

Bei vier Kindern wurde nach erfolgter Reposition in Kontrollröntgenuntersuchungen festgestellt, dass die Fraktur noch eine Fehlstellung aufwies, die durchgeführte **Reposition** somit **ungenügend** war (4 Fälle von 109 reponierten Frakturen = 3,7%). Eine dieser Frakturen konnte mit einer Blountschlinge behandelt werden, die anderen benötigten eine nochmalige Reposition in Allgemeinnarkose. In zwölf Fällen (zwölf Fälle von 172 in der Kinderchirurgischen Klinik primär behandelten Patienten= 7%) kam es zu einer **sekundären Dislokation** der primär in guter Stellung stehenden Fraktur, drei davon dislozierten, obwohl sie mit Kirschner-Drähten fixiert worden waren. Auch von diesen Humerusbrüchen konnten drei konservativ in einer Blountschlinge weiterbehandelt werden, die restlichen mussten operativ versorgt werden (Tabelle 21).

Tabelle 21: In der Kinderchirurgischen Klinik der Charité aufgetretene Komplikationen der Frakturstellung

Komplikation	primäre Therapie	Häufigkeit	Therapie der Komplikation
Initialrepo ungenügend	geschl.Repo + OA-Gipsl.	1	Blount
	geschl.Repo + gekreuzte KD	1	offene Repo + 2 rad KD +1 uln KD
	offene Repo + gekreuzte KD	1	offene Repo + gekreuzte KD
	geschl.Repo + 2 rad KD +1 uln KD	1	offene Repo + 2 rad KD +1 uln KD
sekundäre Dislokation	OA-Gipslonguette	2	1x Blount, 1x geschl.Repo + Blount
	geschl.Repo + OA-Gipslonguette	3 #	1x Blount, 1x geschl.Repo + 2 rad KD, 1x geschl. Repo + 2 rad KD + 1 uln KD
	geschl.Repo + Blount	2	1x geschl.Repo + gekr. KD, 1x offene Repo + gekr.KD
	geschl.Repo + 2 OA-Gipslonguetten	2	1x Blount, 1x offene Repo + gekreuzte KD
	geschl.Repo + gekreuzte KD	1	geschl.Repo + gekreuzte KD
	offene Repo + gekreuzte KD	1	offene Repo + 1 rad KD + 2 uln KD
	offene Repo + 2 rad KD +1 uln KD	1	offene Repo + gekreuzte KD

Initialrepo = initiale Reposition, geschl. = geschlossen, Repo = Reposition, OA = Oberarm, Gipsl. = Gipslonguette, rad = radial, uln = ulnar, gekr. = gekreuzt, KD = Kirschner-Draht

Nach operativer Therapie traten in 21 Fällen (21 Fälle von 116 in der Kinderchirurgischen Klinik operativ behandelten Patienten = 18,1%) **nervale Störungen** neu auf, wobei im Großteil der Fälle ausschließlich der Nervus ulnaris betroffen war (15 Fälle = 71,4%) (Tabelle 22). Wenn sich nach Entfernung des ulnaren Kirschner-Drahtes die Symptomatik besserte, wurde die Störung als vom Draht verursacht postuliert, ansonsten wurde sie als postoperative Nervenstörung angesehen. Die vom Draht verursachten Ulnarisschwächen traten nur nach geschlossener Reposition auf, sie betrafen zweimal die Sensibilität und dreimal Sensibilität und Motorik. Bis auf ein Kind, welches noch bei der Nachuntersuchung für diese Studie, zwei Jahre und vier Monate nach Unfall, über ein Taubheitsgefühl im Kleinfinger berichtete, waren bei allen Patienten die Störungen vollständig rückläufig. Die Ulnarisstörungen, welche postoperativ ohne Nachweis der Verursachung durch das Osteosynthesematerial auftraten, beeinträchtigten in acht Fällen die Sensibilität, in einem Fall die Motorik und einmal sowohl Sensibilität als auch Motorik. Diese Störungen zeigten sich fünfmal nach geschlossener und viermal nach offener Reposition, einmal ist die Repositionsweise unbekannt. Sie bildeten sich ebenfalls, bis auf zwei Fälle in denen bei Nachuntersuchung über Dys- bzw. Parästhesie in Teilen des Nervenversorgungsgebietes geklagt wurde, vollständig zurück. Bei einem dieser Kinder war die Sensibilitätsstörung weder in

der stationären noch in der ambulanten Akte dokumentiert, sondern wurde erst bei der Nachuntersuchung, vier Jahre und sieben Monate nach Unfall, berichtet und vom Patienten auf die Operation zurückgeführt. Ein Zusammenhang ist somit zumindest fraglich. Der andere Patient klagte bei der Nachuntersuchung für diese Studie, ein Jahr und sieben Monate nach Unfall, über gelegentliche Parästhesien. Vollständige Rückbildung zeigten beide in offener bzw. geschlossener operativer Therapie entstandene Medianusstörungen (2 Fälle = 9,5%), die einmal Empfindung und einmal Empfindung und Bewegung beeinträchtigten. Nach offener Reposition zeigten sich eine sensibel-motorische Radialisschwäche (1 Fall = 4,8%), eine kombinierte Sensibilitätsstörung von Ulnaris und Medianus (1 Fall = 4,8%) und eine kombinierte sensibel-motorische Einschränkung von Radialis und Medianus (1 Fall = 4,8%), alle diese Störungen waren vollständig rückläufig. Das Kind, welches die Kombination aus Radialis- und Medianusläsion zeigte, war bei Aufnahme bezüglich Motorik und Sensibilität nicht eindeutig zu beurteilen und litt postoperativ an einer deutlichen Schwäche beider Nerven, die sich nur zögerlich zurückbildete. Fraglich ist, ob die Nervenschädigung nicht schon präoperativ bestand. Bei einem Kind waren im Rahmen eines Kompartmentsyndroms alle drei Nerven geschädigt (1 Fall = 4,8%). Der Fall ist weiter unten im Einzelnen dargestellt, auch hier waren die nervalen Störungen unter intensiver Therapie fast vollständig rückläufig.

Tabelle 22: In der Kinderchirurgischen Klinik der Charité aufgetretene postoperative nervale Komplikationen und ihre Therapie

Komplikation	primäre Therapie	Häufigkeit	Th. der Komplikation
N.ulnaris durch KD	geschl.Repo + gekreuzte KD*	4	Entfernung ulnarer KD
	geschl.Repo + 2 rad KD + 1 uln KD	1	Entfernung ulnarer KD
N.ulnaris postop.	offene Repo + gekreuzte KD	4	keine / Verband gelockert
	geschl.Repo + gekreuzte KD	3 #	keine / Verband gelockert
	geschl.Repo + 1 rad KD + 2 uln KD	1	keine
	offene Repo + 2 rad KD + 2 uln Kd + 1 KD quer *	1 #	keine
	geschl.Repo + 2 rad KD + 1 uln KD	1	keine
N.ulnaris + N.medianus postop.	offene Repo + gekreuzte KD	1	keine
N.medianus postop.	offene Repo + gekreuzte KD	1	keine
	geschl.Repo + gekreuzte KD	1	Verband gelockert
N.medianus + N.radialis postop.	offene Repo + gekreuzte KD	1	keine
N.radialis postop.	offene Repo + gekreuzte KD	1	keine
N.ulnaris + N.medianus + N.radialis bei Kompartmentsyndrom	offene Repo + gekreuzte KD	1	Therapie des Kompartmentsyndroms, Elektrostimulation, Krankengymnastik
Gesamt		21	

postop. = postoperativ, N. = Nervus, geschl. = geschlossen, Repo = Reposition, rad = radial, uln = ulnar, KD = Kirschner-Draht

Im Bereich der in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité eingebrachten Kirschner-Drähte kam es in 13 Fällen zur oberflächlichen **Wundinfektion** (13 Fälle von 94 = 13,8%). Daraufhin wurde in drei Fällen das Material früher als geplant entfernt und eine antibiotische Behandlung verordnet. Vier Kinder erhielten nur Antibiotikatherapie und sechs benötigten keine bzw. nur lokale antiphlogistische Behandlung. Es kam in keinem Fall zu einer Osteomyelitis.

Bei zehn invasiv behandelten Kindern (10 Fälle von 95 = 10,5%) entwickelte sich eine **Hypergranulation** bzw. eine **Narbenhypertrophie**. Drei Narbenhypertrophien wurden exzidiert, drei Fälle von Hypergranulation geätzt und zwei Fälle nicht behandelt. Ein Kind hatte zusätzlich zu einer hypertrophen Narbe einen Sensibilitätsstörungen verursachenden Narbenbruch, beides wurde operativ versorgt. Bei einem Patienten hatte sich eine ausgeprägte hypertrophe Narbe nach Fasciotomie bei Kompartmentsyndrom entwickelt, diese wurde aus funktionellen Gründen exzidiert.

Ein Patient mit suprakondylärer Fraktur (1 Fall von 178 Patienten = 0,6%) entwickelte

postoperativ ein **Kompartmentsyndrom** des Unterarmes und eine Thrombose der Arteria brachialis. Nach Diagnosestellung mittels Dopplersonographie und DSA erfolgten die Thrombektomie mit Fogarty-Katheter und die Faszienpaltung. Zu Muskelnekrosen war es nicht gekommen. Aber das EMG, welches ca. einen Monat nach dem Ereignis angefertigt wurde, zeigte eine völlige Denervierung der vom Nervus radialis versorgten Unterarmmuskulatur, der vom Nervus medialis und ulnaris versorgten Handmuskeln und ein Ausfall der sensiblen Nervenpotentiale der Hand. Das Kind entwickelte eine Krallenstellung der Hand. Es wurde kontinuierlich krankengymnastisch und mit Elektrostimulation behandelt. Spätere EMG-Untersuchungen zeigten eine einsetzende Regeneration der geschädigten Nerven und eine Reinnervierung der Muskelgruppen. Bei der letzten ambulanten Untersuchung, die ein Jahr und fünf Monate nach Unfall stattfand, stellte sich die Symptomatik fast vollständig rückläufig dar, es war nicht zur Ausbildung einer Volkmann'schen Kontraktur gekommen. Die Sensibilität der Hand war komplett vorhanden, Faustschluss und Fingerspreizen waren insgesamt regelrecht, es lag noch eine leichte Schwäche der Dorsalflexion der Hand vor.

Die **Ellenbogenachse** von elf Kindern (11 Fälle von 178 Patienten = 6,2%) wich nach der Fraktur mehr als fünf Grad von der Ellenbogenachse des gesunden Armes ab, neunmal in Varusstellung, zweimal in Hypervalgusstellung. Eines der Kinder mit Verminderung der Ellenbogenachse hatte eine y-kondyläre Fraktur, alle anderen eine suprakondyläre. Bei sieben der zur Nachkontrolle erschienenen Patienten war, auf Grund eines Streckdefizits im Ellenbogen, die Messung der Ellenbogenachse nicht möglich. Vier dieser Kinder zeigten im Vergleich zum gesunden Arm keinen Unterschied der Achse, ein Kind mit y-kondylärer Fraktur hatte eine deutliche Fehlstellung im Sinne eines Cubitus varus und ist deshalb zu den elf Kindern mit Fehlstellung gerechnet worden und ein Patient wies ein so ausgeprägtes Streckdefizit auf, dass die Ellenbogenachse überhaupt nicht zu beurteilen war. Zwei nicht nachuntersuchte Kinder hatten in ihren Akten eine diskrete Hypervalgisierung des verletzten Armes dokumentiert ohne Angabe der genauen Ellenbogenachse. Diese Patienten wurden nicht zu den Patienten mit Ellenbogenfehlstellung gezählt, da nicht klar ist, ob die Differenz zum gesunden Arm größer als fünf Grad war.

18 Kinder (18 Fälle von 178 Patienten = 10,1%) waren nach dem Bruch ihres Ellenbogens mehr als fünf Grad in der **Beweglichkeit** in Richtung Flexion/Extension oder/und Pronation/Supination im Vergleich zum gesunden Arm eingeschränkt. Eines davon hatte eine y-kondyläre, die anderen suprakondyläre Frakturen. Bei den nicht zur Nachuntersuchung

gekommenen Kindern, wurde die Bewegungseinschränkung erst als solche gewertet, wenn sie noch nach ungefähr einem Jahr nach Unfall bestand.

3.8 Ergebnisse der Nachuntersuchung

Von den 119 stationär behandelten Patienten kamen 38 zur Nachuntersuchung. Zwei der Kinder waren zweimal in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité wegen einer Ellenbogenfraktur behandelt worden, ein Patient beide Male am gleichen Arm, der andere an beiden Ellenbogen. Insgesamt konnten so 40 der 123 stationären Fälle (32,5%) nachuntersucht werden, davon waren drei y-kondyläre, die anderen suprakondyläre Frakturen.

Der durchschnittliche **Abstand vom Unfall bis zur Nachuntersuchung** betrug drei Jahre und zwei Monate \pm ein Jahr und vier Monate, wobei das Minimum bei einem Jahr und zwei Monaten und das Maximum bei fünf Jahren und vier Monaten lag.

Bei der Befragung nach **subjektiven Beschwerden** gaben fünf Patienten leichte Schmerzen im Ellenbogenbereich bei starker Beanspruchung an, zwei hatten bei Wetterwechsel Schmerzen, zwei Kinder empfanden ein gelegentliches Ziehen, eines Schmerzen bei bestimmten Bewegungen und zwei eine erhöhte Druckempfindlichkeit im Ellenbogenbereich. 27 Kinder klagten nicht über schmerzhaft empfundene Empfindungen. Probleme im täglichen Leben gaben zwölf Patienten an. Sechs Kinder litten unter einer als störend empfundenen Bewegungseinschränkung, zwei klagten über Schwächegefühl im Arm und Sensibilitätsstörung in einem Teil des Versorgungsgebietes des Nervus ulnaris. Ein Patient gab eine Störung der Sensibilität in einem Teil des Ulnarisinnervationsbereichs an, einer ein Schwächegefühl und eine störende Bewegungseinschränkung, ein anderer ein Schwächegefühl und eine störende Bewegungseinschränkung verbunden mit eingeschränkter Sportfähigkeit. Ein Kind klagte über störende Bewegungseinschränkung und soziale Probleme auf Grund der Deformität seines Ellenbogens, es hatte sich diesen zweimal gebrochen und war zweimal in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité behandelt worden. 27 Patienten hatten keine Probleme im täglichen Leben. Die Frage nach einem Instabilitätsgefühl im Ellenbogen beantworteten zwei Patienten mit „ja“, alle anderen hatten das Empfinden, dass ihr Ellenbogen bei allen Bewegungen und Belastungen stabil sei. Kein Patient hatte seine Gebrauchshand gewechselt. Die Summe von 39 Patienten in Tabelle 23 resultiert daraus, dass ein Kind sich beide Arme gebrochen hatte, mit einem Arm keine Probleme aber im anderen eine Bewegungseinschränkung hatte.

Tabelle 23: Subjektive Beschwerden bei der Nachuntersuchung

subjektive Beschwerden	Häufigkeit	Prozent
keine	20 #	51,3
störende Bewegungseinschränkung	4	10,3
Schmerz bei starker Beanspruchung	2	5,1
störende Bewegungseinschränkung + Schmerz bei starker Beanspruchung	2	5,1
gelegentliches Ziehen	2 #	5,1
störende Bewegungseinschränkung + Schwäche + eingeschränkte Sportfähigkeit + Schmerz bei Wetterwechsel	1	2,6
Schwäche + Sensibilitätsstörung Nervus ulnaris + erhöhte Druckempfindlichkeit	1 #	2,6
Schwäche + Sensibilitätsstörung Nervus ulnaris + erhöhte Druckempfindlichkeit	1	2,6
Sensibilitätsstörung Nervus ulnaris + Instabilitätsgefühl	1	2,6
störende Bewegungseinschränkung + Schwäche	1	2,6
störende Bewegungseinschränkung + soziale Probleme	1	2,6
Schmerz bei starker Beanspruchung + Instabilitätsgefühl	1	2,6
gelegentlich Schmerz bei bestimmten Bewegungen	1	2,6
Schmerz bei Wetterwechsel	1	2,6
Gesamt	39	100,3

Die Patienten und ihre Eltern wurden gebeten das kosmetische und funktionelle Ergebnis der Behandlung zu beurteilen. Die **subjektive Einschätzung der Ergebnisse** zeigt Tabelle 24. Der Patient, der sich beide Arme gebrochen hatte, beurteilte das Behandlungsergebnis für diese getrennt, der Patient, der sich einen Arm zweimal gebrochen hatte gab nur eine Beurteilung der aktuellen Situation ab.

Tabelle 24: Subjektive Zufriedenheit mit dem funktionellen und kosmetischen Behandlungsergebnis

kosmet.Ergebnis	funktionelles Ergebnis				Gesamt
	völlig zufr.	im Allgemeinen zufr.	eher unzufr.	völlig unzufr.	
völlig zufrieden	22 # =56,4%	1=2,6%			23
im Allgemeinen zufrieden	4=10,3%	4 # =10,3%			8
eher unzufrieden	1=2,6%	3 # =7,7%	1=2,6%		5
völlig unzufrieden		1=2,6%		2=5,1%	3
Gesamt	27	9	1	2	39

kosmet. = kosmetisch, zufr. = zufrieden

Die **objektive Beurteilung der Behandlungsergebnisse** angelehnt an Flynn et. al. [60] ergab Folgendes. Als exzellent wurde das Behandlungsergebnis bei 20 Kindern gewertet (Tabelle 25). Gut war es bei vier Kindern, zwei davon hatten bei exzellentem kosmetischen Ergebnis ein Beweglichkeitsverlust von über 5°, eines erreichte die Neutralstellung im Ellenbogengelenk nicht und eines zeigte bei exzellenter Funktion eine Abweichung der Ellenbogenachse von über 5° zur Gegenseite. Eine Wertung des Behandlungsergebnisses als mäßig gab es zweimal auf Grund der eingeschränkten Ellenbogenfunktion bei gutem bzw.

nicht zu bewertendem kosmetischen Ergebnis, einmal auf Grund des kosmetischen Faktors bei guter Funktion und zweimal waren sowohl Funktion als auch Ellenbogenachse nur als mäßig zu werten. In sechs Fällen war das Ergebnis der Behandlung ungenügend. Vier Patienten hatten, bei gutem bzw. auf Grund der Streckhemmung nicht zu bewertendem kosmetischem Ergebnis, eine starke Einschränkung der Beweglichkeit. Bei zwei Kindern wich die Achse des Ellenbogens mehr als 15° von der Gegenseite ab, wobei die Funktion des Armes bei beiden exzellent war.

Tabelle 25: Objektive Beurteilung des Behandlungsergebnisses angelehnt an Flynn et. al. [60] mit Angabe des Grundes der Herunterstufung auf eine schlechtere Klasse

Beurteilung	Häufigkeit	Gültige %	Herunterstufung wegen:
exzellent	20 #	57,1	
gut	4	11,4	2 x Fkt, 1 x Achse, 1 x Neutralstellung nicht erreicht
mäßig	5 #	14,3	2 x Fkt, 1 x Achse, 2 x beides
ungenügend	6	17,1	4 x Fkt, 2 x Achse
Gesamt	35	99,9	
nicht beurteilbar	5 #		
Gesamt	40		

Fkt = Funktion

Tabelle 26 zeigt die objektive Beurteilung der Behandlungsergebnisse abhängig von der Schwere des Dislokationsgrades der Fraktur, vom primären Therapieverfahren und ggf. von der Therapie einer sekundären Dislokation.

Tabelle 26: Objektive Beurteilung des Behandlungsergebnisses angelehnt an Flynn et. al. [60] aufgeschlüsselt nach Baumannklassifikation und Therapieverfahren

Bau.	Therapie	Re-Op bei sek. Dislokation	Behandlungsergebnis				
			exzellent	gut	mäßig	ungen.	nicht b.
B. I	OA-Gipsl.		1			1	1
	OA-Gipsl.	g.Repo+gekr. KD	1*				
	OA-Gipsl.	g.Repo+Blount	1				
B.II	Blount		1				
	g.Repo+Blount		2				
	g.Repo+OA-Gipsl.	keine Re-Op, Anlage Blount	1				
	g.Repo+gekr. KD		5 #		1		1
	g.Repo+1rad+2uln KD			1			
	o.Repo+gekr. KD		1			1	
	Repo?+OA-Gipsl.	o.Repo+gekr. KD				1*	
B. III	g.Repo+gekr. KD		1				1
	g.Repo+1rad+2uln KD		1				
	g. Repo+2rad+1uln KD		2				
	o.Repo+gekr. KD		1	3	1	1	1
	o.Repo+1rad+2uln KD						1
	o.Repo+2rad+1uln KD		2		1	2	
	Repo?+gekr. KD				1		
	Olekranonsschraube	o.Repo+2rad+1uln+1quer KD			1* #		
Ges.			20	4	5	6	5

Bau. = B. = Baumann, OA-Gipsl. = OA-Gipslonguette, g. Repo = geschlossene Reposition, o. Repo = offene Reposition, Repo? = keine Angabe zur Reposition, gekr. = gekreuzt, KD = Kirschner-Draht, ungen. = ungenügend, b. = beurteilbar

Die separate Bewertung der Beweglichkeit des Ellenbogens, als den im täglichen Leben wichtigsten Faktor, ergibt ein exzellentes Behandlungsergebnis in 23 Fällen und ein gutes, mäßiges und ungenügendes Ergebnis in je vier Fällen (Tabelle 27).

Tabelle 27: Objektive Beurteilung des funktionellen Behandlungsergebnisses angelehnt an Flynn et. al. [60]

Beurteilung der Funktion	Häufigkeit	Gültige Prozente
exzellent	23 #	65,7
gut	4	11,4
mäßig	4 #	11,4
ungenügend	4	11,4
Gesamt	35	99,9
nicht beurteilbar	5	
Gesamt	40	

Das Behandlungsergebnis war in fünf Fällen nicht nach Flynn et. al. [60] zu beurteilen, da sich die Kinder beide Arme gebrochen hatten und damit kein gesunder Arm als Vergleich

herangezogen werden konnte bzw. weil sich ein Patient zweimal eine Fraktur am gleichen Arm zugezogen hatte und nur das Behandlungsergebnis nach der zweiten Fraktur beurteilt werden konnte. Bei diesem Patienten war der erste Bruch laut Angaben in den Akten ohne jegliche Einschränkung verheilt. Die anderen Patienten zeigten an dem in der Charité behandelten Arm folgende Ergebnisse. Ein Kind hatte, bei normaler Ellenbogenachse und uneingeschränkter Pronation/Supination, ein Beugedefizit und eine Hyperextension im Ellenbogengelenk (F/0/E = 135/0/20). Bei einem Patienten war die y-kondyläre Fraktur in Varusstellung verheilt, Flexion und Extension waren eingeschränkt (F/0/E = 135/5/0) bei normaler Pronation/Supination. Ein anderer Patient hatte, bei normaler Ellenbogenachse und unauffälliger Pronation/Supination, eine Einschränkung der Flexion und Erweiterung der Extension (F/0/E = 135/0/15). Sein anderer Arm war in Varusstellung verheilt, zeigte eine Einschränkung der Pronation von ca. 5° bei normaler Supination, ein Beugedefizit und eine deutliche Hyperextension (F/0/E = 115/0/25).

Das **Verhältnis von subjektiver Einschätzung** des funktionellen und kosmetischen Behandlungsergebnisses **zur objektiven Bewertung** zeigen Tabellen 28 und 29. Die Gesamtzahl von 39 kommt in beiden Tabellen dadurch zustande, dass das Kind, welches sich zweimal den gleichen Arm gebrochen hatte, nur eine Einschätzung der aktuellen Situation abgab. In mehreren Fällen war die objektive Beurteilung aus schon genannten Gründen nicht durchführbar.

Tabelle 28: Verhältnis von subjektiver zu objektiver Beurteilung des funktionellen Behandlungsergebnisses

funktionelles Ergebnis	objektive Beurteilung					Gesamt
subjektive Beurteilung	exzellent	gut	mäßig	ungenügend	nicht beurteilbar	
völlig zufrieden	20 #	3	2	2		27
im Allgemeinen zufrieden	3		2 #	2	2	9
eher unzufrieden		1				1
völlig unzufrieden					2	2
Gesamt	23	4	4	4	4	39

Tabelle 29: Verhältnis von subjektiver zu objektiver Beurteilung des kosmetischen Behandlungsergebnisses

kosmetisches Ergebnis	objektive Beurteilung					Gesamt
subjektive Beurteilung	exzellent	gut	mäßig	ungenügend	nicht beurteilbar	
völlig zufrieden	18 #		2		3	23
im Allgemeinen zufrieden	3	1			4	8
eher unzufrieden	1	2 #		2		5
völlig unzufrieden			1		2	3
Gesamt	22	3	3	2	9	39

Die Messung der **Länge** des Oberarmes, Unterarmes und der gesamten Armlänge ergab

bei keinem Patienten eine Differenz zwischen gesundem und ehemals gebrochenem Arm. Auch die Kinder, welche sich beide Arme gebrochen hatten, wiesen keine Armlängendifferenz auf. Bei sieben Patienten war der radiale Kondylus des verletzten Armes etwas plumper, bei zwei Kindern deutlich plumper, als der des unverletzten Armes zu tasten. Bis auf ein Kind, welches kein Osteosynthesematerial erhalten hatte, waren alle diese Kinder mit Kirschner-Drähten versorgt worden, die radial eingebracht wurden. Unterschiede im **Umfang** des Ellenbogens konnten bei sieben Kindern gemessen werden. Der verletzte Ellenbogen war bei vier Kindern einen Zentimeter dicker, bei einem Kind einen halben Zentimeter dicker und bei einem Kind einen Zentimeter schmäler als auf der unverletzten Seite. Ein Patient, welcher sich beide Arme gebrochen hatte, wies eine Differenz von einem Zentimeter Umfang zwischen den Ellenbogen auf.

Die **Narben**, die durch das Einbringen des Osteosynthesematerials oder den Zugang für die offene Reposition entstanden waren, waren bei 15 Kindern unauffällig. Zehn Patienten hatten eine recht breite Narbe vom dorsalen Zugang. Die Narben an einer oder mehreren Eintrittsstellen der Kirschner-Drähte waren bei fünf Kindern leicht eingezogen, bei zwei Kindern leicht hypertroph und bei einem Kind recht breit. Bei einem Kind konnten die Narbenverhältnisse auf Grund einer später zugezogenen Verbrennung nicht beurteilt werden. Sieben Patienten hatten kein Osteosynthesematerial erhalten und wiesen somit keine Narben auf.

Die **Durchblutung** war bei allen nachuntersuchten Kindern seitengleich regelrecht. Radialispuls, Hauttemperatur und Hautfarbe waren seitengleich und die Rekapillarierungszeit war ebenfalls in beiden Händen normal.

Bei allen Kindern wurden der Nervus medianus, Nervus ulnaris und Nervus radialis untersucht. Keines der Kinder zeigte **motorische Defizite**. Durch die Fraktur oder iatrogen bedingt, hatten ehemals vier der nachuntersuchten Patienten unter motorischen Nervenstörungen gelitten. Bei allen Kindern war die Muskulatur des Armes altersentsprechend entwickelt und die grobe Kraft war nicht auffallend seitendifferent. Die größte ermittelte Abweichung der Kraft des Faustschlusses des verletzten, von der des unverletzten Armes war kleiner als 15% und ließ sich mit dem physiologischen Kraftunterschied zwischen dominanter und nicht dominanter Hand erklären. Die Umfänge von Ober- und Unterarm zeigten keine auffälligen Differenzen zwischen den Armen. Die **sensible Funktion** des Nervus medianus und Nervus radialis war bei allen Kindern ungestört. Im Bereich des Nervus ulnaris hatten drei Patienten Beschwerden. Ein Kind, welches postoperativ unter einer Pa-

rästhesie im Kleinfinger litt, berichtete, ein Jahr und sieben Monate nach dem Unfall, weiterhin gelegentlich ein Kribbeln im Kleinfinger zu spüren. Die Sensibilität war bei diesem Kind im gesamten Bereich intakt. Ein anderer Patient, der, verursacht durch den ulnar eingebrachten Kirschner-Draht, postoperativ über ein Taubheitsgefühl im Ring- und Kleinfinger klagte, welches sich nach Entfernung des Drahtes besserte, litt, zwei Jahre und vier Monate nach seinem Unfall, noch unter einem Taubheitsgefühl im fünften Finger. Die Berührungsempfindlichkeit war im gesamten Finger im Vergleich zur Gegenseite etwas vermindert, ebenso die Schmerzempfindlichkeit. Vibration wurde im Vergleich zur gesunden Seite mehr als Kitzeln empfunden. Das Temperatur- und Bewegungsempfinden war nicht beeinträchtigt. Das dritte Kind gab, nach y-kondylärer Fraktur, bei sonst unauffälliger Sensibilität, Dysästhesien auf der volaren Seite des Kleinfingers und in der Hypothenarregion an, die sich so äußerten, dass zarte Berührungen als unangenehmes Kribbeln empfunden wurden. Bei diesem Kind war in allen Akten keine Sensibilitätsstörung dokumentiert. Die Dysästhesie wurde erst bei der Nachuntersuchung, vier Jahre und sieben Monate nach dem Unfall, berichtet und vom Patienten auf die Verletzung zurückgeführt. Zum vollständigen Verschwinden der sensiblen Nervenstörungen kam es bei sechs Kindern, die ehemals, durch die Fraktur oder iatrogen bedingt, unter Störungen im Bereich des Nervus ulnaris, radialis oder medianus gelitten hatten.

3.9 Radiologische Ergebnisse der konventionellen Röntgenaufnahmen

Die Art der initialen Röntgenaufnahmen ist schon im Kapitel **Diagnostik** beschrieben worden. Über die Erstaufnahme hinaus erhielten alle Kinder, die operativ behandelt wurden, intraoperativ Durchleuchtungsaufnahmen des Ellenbogens. **Radiologische Kontrollen** des Frakturstandes, wenn angefertigt, wurden bei den ambulant behandelten Kindern ein bis vier Mal, im Durchschnitt $1,93 \pm 0,9$ Mal, durchgeführt. Elf Patienten hatten keine Röntgenkontrolle in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité erhalten und bei einem Kind ist nicht bekannt, ob Röntgenkontrollaufnahmen gemacht wurden. Die stationär behandelten Kinder erhielten ein bis sieben Mal, im Durchschnitt $2,88 \pm 1,3$ Mal, eine Kontrollaufnahme ihres Armes, bei einem Patienten ist nicht bekannt ob er zur Kontrolle des Frakturstandes geröntgt wurde.

Die konventionellen Röntgenbilder aller stationär behandelten Patienten sind im Rahmen dieser Studie noch einmal ausgewertet worden. Die nachfolgenden Daten beziehen sich auf diese Bilder. Von sieben Patienten waren die Bilder nicht auffindbar, einer davon war zweimal in der Kinderchirurgischen Klinik der Charite behandelt worden. Die Gesamtzahl

der ausgewerteten Fälle beläuft sich somit auf 115.

Den Frakturtyp und die Klassifikation nach Baumann der ausgewerteten Fälle zeigt die Tabelle 30.

Tabelle 30: Frakturtyp und Baumannklassifikation der Patienten, deren Röntgenbilder ausgewertet wurden

Fraktur-Typ	Baumann-Klassifikation			Gesamt
	Baumann I	Baumann II	Baumann III	
suprakondylär	8	54	48	110
y-kondylär		3	2	5
Gesamt	8	57	50	115

Auf 80 initialen Röntgenbildern und auf 108 Bildern nach Behandlung, ggf. Reposition und ggf. Re-Reposition, konnte der **Baumannsche Winkel** bestimmt werden. Tabellen 31 zeigt die gemessenen Werte der initialen Aufnahmen in Abhängigkeit von der Klassifikation des Dislokationsgrades der Fraktur nach Baumann und die Werte nach Behandlung. 77,8% der Patienten, deren Röntgenbilder beurteilt werden konnten, zeigten nach Behandlung einen normal großen Baumannwinkel.

Tabelle 31: Baumannwinkel auf dem initialen Röntgenbild (in Abhängigkeit zum Dislokationsgrad nach Baumann) und nach Behandlung und ggf. endgültiger Reposition

Baumannwinkel in °	initial, nach Baumann klassifiziert				nach Behandlung	
	Baumann I	Baumann II	Baumann III	Gültige %	Häufigkeit	Gültige %
<60		2#	9	13,8		
60-64		4	7	13,8		
65-69	1	3	6	12,5	9	8,3
70-80	7	20##	2	36,3	84#####	77,8
81-85		4	4	10	14#	13
86-90		2	3	6,5	1	0,9
>90		3	3	7,5		
Gesamt	8	38	34	100,4	108	100

86 initiale und 113 nach Behandlung und ggf. endgültiger Reposition aufgenommene Röntgenbilder konnten bezüglich des Vorhandenseins eines **Rotationsfehlers** beurteilt werden. Tabelle 32 zeigt, ob ein Rotationsfehler vorhanden, und wie groß der RFQ war. Auch nach Behandlung zeigten noch 22 der Patienten, deren Röntgenbilder beurteilbar waren, einen Rotationsfehler.

Tabelle 32: Rotationsfehlerquotient (RFQ) auf dem initialen Röntgenbild (in Abhängigkeit zum Dislokationsgrad nach Baumann) und nach Behandlung und ggf. endgültiger Reposition

RFQ	initial, nach Baumann klassifiziert			nach Behandlung		
	Baumann I	Baumann II	Baumann III	Gültige %	Häufigkeit	Gültige %
kein Rotationsfehler	8	32##	17#	66,3	91#####	80,5
<0,05				0	5	4,4
0,05-0,09		2	2	4,7	12	10,6
0,1-0,15		4	4	9,3	4	3,5
>0,15		7	10	19,8	1	0,9
Gesamt	8	45	33	100,1	113	99,9

Ob bei veränderter Ellenbogenachse des gebrochenen Armes im Vergleich zum gesunden auf den Röntgenbildern stets ein nicht normaler Baumannwinkel oder ein Rotationsfehler zu sehen war und ob ein nicht normaler Baumannwinkel oder ein geschehener Rotationsfehler immer mit einer Achsänderung einherging, lässt sich nur bei den nachuntersuchten Patienten feststellen. Folgende Tabelle zeigt alle nachuntersuchten Patienten mit Achsabweichung über 5° zur gesunden Gegenseite und die Ergebnisse ihrer Röntgenbilder. Ebenfalls sind zwei Patienten enthalten, deren Ellenbogenachse auf Grund eines Streckdefizits nicht messbar war, die aber eindeutig eine Varusstellung des Armes aufwiesen. Alle anderen nachuntersuchten Patienten hatten keine Achsabweichung bzw. zeigten, bei nicht vorhandenem gesunden Vergleichsarm, keine offensichtliche Fehlstellung, obwohl vier einen Baumannwinkel 65°-69° und einer einen Winkel 81°-85° hatten, ein Patient hatte einen RFQ <0,05, zwei einen RFQ 0,05-0,09 und einer einen RFQ 0,1-0,15.

Tabelle 33: Nach Behandlung, und ggf. endgültiger Reposition, gemessener RFQ und Baumannwinkel der Patienten, die bei Nachuntersuchung Achsabweichungen bzw. Fehlstellungen zeigten

	°Achsabweichung von der Achse des gesunden Arms								Achse nicht meßbar	
	Hypervalgus	kein "echter" Varus			"echter" Varus				Varus	Varus
	6°	8°	10°	15°	15°	15°	16°	18°		
RFQ	0	0	0,1-0,15	0	0	0,05-0,09	<0,05	<0,05	0	0
Baumann.	65-69	70-80	81-85	65-69	81-85	86-90	70-80	70-80	70-80	81-85

Baumann. = Baumannwinkel

Auf 68 initial und 103 nach Behandlung und ggf. endgültiger Reposition aufgenommenen Röntgenbildern konnte der **Epiphysenachsenwinkel** beurteilt werden. Die Werte zeigt Tabelle 34. 64,1% der Patienten, deren Bilder beurteilt werden konnten, zeigten nach Behandlung einen normalen Epiphysenachsenwinkel.

Tabelle 34: Epiphysenachsenwinkel auf dem initialen Röntgenbild (in Abhängigkeit zum Dislokationsgrad nach Baumann) und nach Behandlung und ggf. endgültiger Reposition

Epiphysenachsenwinkel in °	initial, nach Baumann klassifiziert				nach Behandlung	
	Baumann I	Baumann II	Baumann III	Gültige %	Häufigkeit	Gültige %
<20		22##	14#	55,9	8	7,8
20-24	2	1	2	4,4	6#	5,8
25-29		3	2	7,4	20	19,4
30-50	5	5	7	25	66##	64,1
51-55		2#	2	5,8	2	1,9
56-60					1	1
>60		1		1,5		
Gesamt	7	34	27	100	103	100

In 69 Fällen konnte ein **Achsknick in der Sagittalebene** im Sinne einer Antekurvatur und in zehn Fällen im Sinne einer Rekurvatur auf dem initialen Röntgenbild festgestellt werden. Der Winkel zwischen Achse des distalen und Achse des proximalen Fragments, und damit das Ausmaß des Achsknickes, ließ sich in 72 Fällen bestimmen. Nach Behandlung und ggf. Reposition und Re-Reposition hatten noch 48 von 112 Kindern, deren Röntgenbilder danach beurteilbar waren, einen Achsknick, 36 im Sinne einer Antekurvatur und 12 im Sinne einer Rekurvatur. Die Werte des Winkels zwischen distalem und proximalem Fragment vor und nach Behandlung zeigt Tabelle 35.

Tabelle 35: Winkel zwischen Achse des distalen und Achse des proximalen Fragments auf dem initialen Röntgenbild (in Abhängigkeit zum Dislokationsgrad nach Baumann) und nach Behandlung und ggf. endgültiger Reposition

Winkel dist./prox. Fragment in °	initial, nach Baumann klassifiziert				nach Behandlung	
	Baumann I	Baumann II	Baumann III	Gültige %	Häufigkeit	Gültige%
<5	2		1	4,2	7	14,6
5-(10		5##	1	8,3	25#	52,1
11-/15		4		5,6	7	14,6
16-20	1	11	3	20,8	6	12,5
21-25		6		8,3	1#	2,1
>25		18#	20	52,8	2	4,2
Gesamt	3	44	25	100	48	100,1

Der Epiphysenachsenwinkel dient, wie der Winkel zwischen distalem und proximalem Fragment, zur Objektivierung des Ausmaßes eines Achsknickes in der Sagittalebene. Wie der Epiphysenachsenwinkel bei nach Behandlung persistierendem, deutlichem Winkel zwischen Achse des distalen und proximalen Fragmentes ausfiel, zeigt folgende Tabelle, die die Röntgenbilder auswertet, auf denen beides beurteilbar war. So hatten zum Beispiel vier Kinder mit einer Rekurvatur von 11° bis 15° einen normalen Epiphysenachsenwinkel von 30° bis 50°. In bezüglich Epiphysenachsenwinkel und Winkel zwischen distalem und proximalem Fragment beurteilbaren Röntgenbildern hatten außerdem 28 Patienten einen

nicht normalen Epiphysenachsenwinkel, aber keinen Achsknick oder einen Achsknick $<10^\circ$ in der Sagittalebene.

Tabelle 36: Fälle mit deutlichem Achsknick in der Sagittalebene nach Behandlung und ggf. endgültiger Reposition: Zusammenhang von Winkel zwischen distalem und proximalem Fragment und Epiphysenachsenwinkel

Achsknick in der Sagittalebene		Epiphysenachsenwinkel in °				
Antekurvatur	Winkel distales/proximales Fragment in °	<20	20-24	25-29	30-50	51-55
	11-/15		1		2	
	16-20	1	1	2		
	21-25					
	>25					
Rekurvation	Winkel distales/proximales Fragment in °					
	11-/15				4	
	16-20					2
	21-25				1	
	>25				1	

Keines der Kinder zeigte im Röntgenbild eine Myositis ossificans, eine Pseudarthrose oder eine Fischeschwanzdeformität.

4 Diskussion

Der Vergleich der Ergebnisse dieser Arbeit mit denen anderer Arbeiten ist problematisch. In einigen anderen Studien setzt sich das Patientengut anders zusammen, teils sind nur dislozierte Frakturen berücksichtigt, teils werden auch ganz unkomplizierte Fälle, die nur primär versorgt wurden einbezogen, die Klassifikation der Frakturen erfolgt nach einem anderen Schema oder die Ergebnisse werden nicht nach Flynn et. al. ausgewertet. Auf Grund der genauen Beschreibung der verwendeten Klassifikations- und Auswertungskriterien durch die Autoren, lassen sich dennoch viele Ergebnisse auf die in dieser Arbeit verwendeten Schemata übertragen. Ein weiteres Problem besteht darin, dass wenig Literatur über die y-kondyläre Fraktur im Kindesalter vorliegt und in dieser Arbeit nur sechs Fälle enthalten sind, so dass die Daten zu dieser, der suprakondylären Humerusfraktur sehr ähnlichen, Fraktur teilweise nicht separat ausgewertet werden können.

4.1 Patientengut

Das Durchschnittsalter der Patienten lag, mit 5,4 Jahren und mit einem Häufigkeitsgipfel im fünften und sechsten Lebensjahr, in dem, in der Literatur üblicherweise angegebenen, Zeitraum für gehäuftes Auftreten von suprakondylären Humerusfrakturen [8, 9, 10, 29, 40, 46, 75]. Abweichend davon gab es einen hohen ersten Gipfel bei drei Jahren, in diesem Lebensjahr waren die meisten Kinder verunfallt. Es waren, wie allgemein beschrieben [2,

6, 10, 17, 19, 46], mehr Jungen als Mädchen betroffen. Die in dieser Arbeit untersuchten Fälle repräsentieren also das typische Patientengut mit suprakondylären Humerusfrakturen.

4.2 Unfallursachen

Die Häufung der zur Fraktur führenden Unfälle in den Sommermonaten ist konform mit den Beobachtungen von Ladin und Danielsson [6], Pirone et al. [46] und Farnsworth et al. [29]. Die Tatsache, dass die meisten Unfälle sich nachmittags oder abends ereigneten, nur 27,1% ein D-Arztverfahren nötig machten und circa die Hälfte der Unfälle zu Hause oder auf dem Spielplatz passierte, zeigt, dass die meisten Frakturen durch Freizeitunfälle zustande kamen. Dieses wurde auch von Farnsworth et al. [29], Celiker et al. [59] und Weinberg et al. [10] beobachtet. Wie bei Hothorn und Hünicke [76], Webb und Sherman [75] und Farnsworth et al. [29] war der weitaus häufigste Unfallmechanismus der Sturz aus der Höhe (70,8%). Die Kinder stürzten meist von einem Klettergerüst, anderem Spielgerät oder von einem Möbel, diese Beobachtung wurde auch von Farnsworth et al. gemacht [29]. Andere Autoren [6, 59, 77] geben als häufigsten Unfallmechanismus den Sturz zu ebener Erde an. Die Entstehung der meisten Frakturen im Spiel in der Freizeit begründet die fehlende Präventionsmöglichkeit der supra- und y-kondylären Humerusfraktur.

4.3 Frakturen

Trotz der Seltenheit dieser Fraktur im Kindesalter, wiesen sechs Kinder (3,4%) eine y-kondyläre Fraktur auf, die anderen Kinder (96,6%) hatten suprakondyläre Frakturen. Die Klassifikation der y-kondylären Frakturen nach Riseborough und Radin [21, 26] zeigte in vier Fällen keine Dislokation zwischen Trochlea und Capitulum und zweimal eine geringe Separation dieser beiden Bruchstücke. Der Längsbruch des distalen Fragmentes war also nicht die entscheidende Komponente der Fraktur. Die Einteilung aller Brüche nach der Baumann Klassifikation [2] ergab 35,4% Baumann I, 33,1% Baumann II und 31,5% Baumann III Frakturen, ein Vergleich dieser Zusammensetzung des Patientenguts mit dem anderer Autoren zeigt folgende Tabelle. Einige der angeführten Verfasser haben eigene Klassifikationen des Dislokationsgrades verwendet, deren Beschreibung in den Arbeiten macht aber eine nachträgliche Einteilung nach Baumann möglich. Die Tabelle zeigt, dass das Patientengut einzelner Arbeiten sich in Bezug auf das Dislokationsausmaß der Frakturen stark unterscheidet, was in der Bewertung der Behandlungsergebnisse der Arbeiten zu berücksichtigen ist.

Tabelle 37: Verteilung des Patientengutes im Vergleich zum Kollektiv anderer Autoren [7, 10, 44, 46, 63, 76] auf die Dislokationsklassen nach Baumann [2]

Baumann	Verteilung des Patientengutes der einzelnen Arbeit in Prozent						
	vorliegende Arbeit	Weinberg et al.	Pirone	Kutscha-Lissberg et al.	Kutscha-Lissberg und Rauhs	Schüz und Börner	Hothorn und Hünicke
I	35,4	35,4	0	43,4	45	48,7	23,3
II	33,1	40	38	20,6	24	34,6	46,7
III	31,5	24,6	62	36	31	16,7	30
Fallzahl	178	886	220	136	88	78	60

Der Anteil an offenen Brüchen der in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité behandelten supra- und y-kondylären Humerusfrakturen war mit 1,1% gering und entspricht dem von Weinberg et al. [10] beobachteten.

Mit 8% waren die Flexionsfrakturen im Vergleich zur Literatur, wo sie mit unter 1% bis 5% angegeben werden [1, 3, 4, 7, 9, 17], häufiger. Allerdings haben auch Sigge et al. [40] und Schüz und Börner [44] und Celiker et al. [59] mit 7,9%, 10,3% und 20,4% höhere Anteile an Flexionsfrakturen beobachtet. Dem doch nicht so seltenen Auftreten von Flexionsfrakturen ist in Diagnostik und Therapie Rechnung zu tragen. Denn diese Frakturen haben kein dorsal abstützendes intaktes Periost mehr und können daher in der Blountschen Schlinge nicht ausreichend stabil gehalten werden [4, 8, 15, 17, 40].

Etwas mehr als die Hälfte der Kinder (51,1%) hatte sich den linken Arm gebrochen. Die größere Gefährdung des linken, meist nicht dominanten, Armes wird durch seine Nutzung als Schutz- und Abwehrarm erklärt [2, 29]. Bei den Kindern, bei denen bekannt war, welcher der bevorzugte Arm war, zeigte sich jedoch, dass, entgegen dieser These, der dominante Arm mit 51,2% etwas häufiger gebrochen wurde. Auch war das Überwiegen der linksseitigen Brüche insgesamt geringer als in der Literatur beschrieben wird (56,7%-63%) [7, 10, 29, 44, 46].

Zum Aufnahmezeitpunkt wiesen 91% der Patienten eine deutliche bis massive Schwellung der Ellenbogenregion auf. Hierzu gibt es in der Literatur keine Angaben, es ist aber ein für die Therapie nicht unerhebliches Problem, denn eine starke Schwellung kann das Auffinden der Epikondylen und damit das sichere Einbringen von Kirschner-Drähten erschweren.

4.4 Assoziierte Verletzungen

Von den in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité behandelten Kindern hatten 5,2% (n = 9) der Patienten mit suprakondylärer Humerusfraktur und eines der sechs Kinder mit

y-kondylärer Fraktur eine **weitere Fraktur** der oberen Extremität. Eine Kombination mit Knochenbrüchen anderer Regionen trat nicht auf. Die Häufigkeit von Begleitfrakturen bei suprakondylärer Humerusfraktur wird mit 1,3% bis 8,6% [7, 44, 71, 75], bei dislozierten Frakturen mit 5,9% bis 11% [29, 46, 51] angegeben. Der überwiegende Teil dieser Frakturen (80% bis 100%) betrifft die obere Extremität [29, 44, 46, 51, 71, 75].

Die Häufigkeit des Auftretens **posttraumatischer nervaler Störungen** liegt im vorliegenden Patientenkollektiv, mit 5% bezogen auf alle und mit 7,8% bezogen auf die dislozierten Frakturen, im unteren Bereich der in der Literatur angegebenen Häufigkeiten [3, 4, 10, 17, 45, 46, 50, 51, 52, 53, 54]. Der Nervus medianus und nicht der Nervus radialis, wie in zahlreichen Quellen beschrieben [10, 17, 49, 51, 52], war der vorrangig betroffene Nerv. Es gibt allerdings auch Studien, die ebenfalls den Nervus medianus als den am häufigsten betroffenen Nerven identifizieren konnten [29, 46, 54, 55] oder bei denen er genauso häufig wie der Nervus radialis betroffen war [50].

Die Häufigkeit von **posttraumatischen Durchblutungsstörungen**, 3,9% bezogen auf alle Patienten und 6,1% bezogen auf die Kinder mit dislozierten Frakturen, liegt im höheren Bereich der Häufigkeitsangaben durch andere Autoren [10, 49, 50, 57].

4.5 Diagnostik

Im Gegensatz zu früheren, aber auch aktuellen, Empfehlungen [1, 5, 16, 18, 19, 30] und konform zur Ansicht von Laers [20] wurde bei keinem Kind der unverletzte Ellenbogen als Vergleich zur frakturierten Seite geröntgt. Erfahrene Radiologen und die Verwendung der Rogers'schen Hilfslinien bei der Beurteilung fraglicher Frakturen machen diese, mit doppelter Strahlenbelastung für das Kind verbundene, Untersuchung unnötig. In 95,4% der Fälle wurde der Forderung nach zwei senkrecht aufeinanderstehenden Aufnahmen [1, 20] bei der initialen radiologischen Untersuchung Rechnung getragen, die Röntgenaufnahmen nur in einer Ebene (4,6%) waren alle außerhalb der Kinderchirurgischen Klinik der Charité entstanden.

Zur weiterführenden Diagnostik kamen, je nach Indikation, Dopplersonographie, Elektromyographie, MRT, CT und die Digitale Subtraktionsangiographie zum Einsatz.

4.6 Therapie

Die in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité verwendeten Therapievarianten waren die Ruhigstellung in Blountscher Schlinge oder Oberarmgipslonguette mit oder ohne vor-

heriger geschlossener Reposition und die geschlossene oder offene Reposition mit anschließender Einbringung von Kirschner-Drähten.

Bei der Behandlung **nicht dislozierter Frakturen** besteht Konsens darüber, dass sie rein konservativ, durch Immobilisation in Blountscher Schlinge oder einer der vielen Varianten des Gipsverbandes, behandelt werden. Die Vor- und Nachteile dieser Verfahren wurden im Kapitel 1.1.6 Therapie bereits genauer beleuchtet. Unter den konservativ behandelten Patienten erhielten 58% (n = 36) eine oder zwei Oberarmgipslonguetten und 40,3% (n = 25) eine Schlinge nach Blount, ein Kind (1,6%) war mit einem Delta lite Verband behandelt worden. Welches der konservativen Verfahren zu bevorzugen ist, und ob die Gefahr der Gefäßkompression in der Schlinge oder die Gefahr der sekundären Dislokation im Gips schwerer wiegt, wird unterschiedlich bewertet. Dallek et al. [4], Sigge et al. [40] und Mohammed und Rymaszewski [78] bevorzugen die Schlinge bzw. den Spitzwinkelgips. Goudarzi [3, 70], Kutscha-Lissberg und Rauhs [7], Schüz und Börner [44], Hothorn und Hünicke [76] und Webb und Sherman [75] favorisieren die Gipslonguette oder eine andere Form des Gipsverbandes in Rechtwinkelstellung. In neueren Arbeiten wird meist nur noch auf die Behandlung der dislozierten Frakturen eingegangen. Im Rahmen einer großen Studie von Weinberg et. al. [10] wurden für undislozierte Frakturen beide konservativen Verfahren verwandt. Von Laer et al. [48] empfehlen für undislozierte Frakturen den rechtwinkligen Oberarmgips und für Frakturen mit ausschließlich dezenter Antekurvatur die Blountsche Schlinge bzw. den Spitzwinkelgips.

Bezüglich der Behandlung der **dislozierten Frakturen** gehen die Meinungen auseinander. Das größte Problem stellt dabei nicht die Reposition, sondern das Retinieren des Repositionsergebnisses dar und besonders bei den nicht vollständig dislozierten Frakturen herrscht Uneinigkeit darüber, wie sie zu fixieren sind. Nach geschlossener Reposition können diese Frakturen konservativ oder mittels Kirschner-Drähten oder Extensionsverfahren gehalten werden. Von den nicht invasiven Verfahren bevorzugen die schon oben hierzu erwähnten Autoren und Pirone et al. [46] die Methode nach Blount oder den Spitzwinkelgips, die oben genannten Befürworter der Ruhigstellung im rechtwinkligen Gips verwenden diesen auch nach geschlossener Reposition. Lässt sich das Repositionsergebnis nicht gut fixieren oder handelt es sich um eine vollständig dislozierte Fraktur, so wird das Einbringen von Kirschner-Drähten empfohlen [7, 10, 40, 44, 46, 75]. Von Laer et al. [48] und von Laer [20] raten bei Frakturen, die reponiert werden müssen, generell zur Osteosynthese mit Kirschner-Drähten, da dieses die definitivste Methode zum Erhalt des Repositionsergeb-

nisses darstellt. Dallek et al. [4] und Sigge et al. [40] spicken alle Flexionsfrakturen mit Kirschner-Drähten, da hier, durch fehlende Abstützung durch das dorsale Periost, die interne Stabilität für die konservative Ruhigstellung nicht gegeben ist. Die früher mit guten Ergebnissen gebrauchten Extensionsmethoden werden seit einiger Zeit nur noch bedingt oder gar nicht mehr empfohlen [20, 40, 44, 45, 48], da sie eines langen Krankenhausaufenthaltes und eines hohen pflegerischen Aufwandes bedürfen. Auf die einzelnen Behandlungsverfahren der dislozierten suprakondylären Humerusfraktur fielen in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité folgende Anteile: Blountsche Schlinge ohne Reposition 1,9%, geschlossene Reposition und Oberarmgipslonguette/n 6,5%, geschlossene Reposition und Blountsche Schlinge 11,2%, geschlossene Reposition und Kirschner-Drähte 37,4%, offene Reposition und Kirschner-Drähte 43%. Der Anteil der offenen Repositionen ist dabei höher als in anderen Studien, wo er mit 3% bis 39% [7, 10, 29, 44, 46, 51] angegeben wird. Der Großteil der Frakturen (80,4%) wurde mit Drähten fixiert, andere Autoren, die ähnliche Behandlungsverfahren wie die Kinderchirurgische Klinik der Charité verwendeten, geben hier Häufigkeiten von 40% bis 97% [7, 10, 29, 44, 51] an.

Die vier primär in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité behandelten **y-kondylären Humerusfrakturen** wurden in zwei Fällen mit offener Reposition und Kirschner-Drähten, einmal mit geschlossener Reposition und Drähten und einmal mit geschlossener Reposition und Oberarmgipslonguette versorgt. Da die Kondylenfragmente nicht oder kaum voneinander disloziert waren, wurden sie nicht durch einen queren Draht oder eine Schraube aneinander fixiert. Die beiden Patienten mit y-kondylärer Fraktur, die erst nach aufgetretenen Komplikationen, in der Charité behandelt wurden, erhielten zur Stabilisation der Kondylenfragmente untereinander eine Zugschraube bzw. einen quer eingebrachten K-Draht. Die Uneinheitlichkeit der Therapieempfehlungen bezüglich der y-kondylären Fraktur wurde bereits im Allgemeinen Teil dargestellt.

Als **Osteosynthese** wurden zu 78,4% gekreuzte, zu 14,8% zwei radiale und ein ulnarer, zu 5,7% ein radialer und zwei ulnare und zu 1,1% zwei radiale Kirschner-Drähte eingebracht. Nach Experimenten von Vlahovic und Bumci [79] bieten zwei radiale und ein ulnarer Draht die größte Stabilität gefolgt von gekreuzten und von zwei radialen Drähten. Onwuanyi und Nwobi [80] wiesen für gekreuzte Drähte ebenfalls größere Stabilität als für zwei radiale Drähte nach, Gordon et al. [81] und Skaggs et al. [82] fanden keine signifikanten Unterschiede, Gordon et al. konnten aber für vollständig dislozierte Frakturen einen Vorteil der gekreuzten Drähte feststellen. Die bevorzugte Verwendung gekreuzter Kirschner-

Drähte in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité findet also Bestätigung in diesen Untersuchungen.

Die stationär behandelten Kinder blieben meist vier oder fünf, im Durchschnitt sechs Tage, in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité. Die **Aufenthaltsdauer** stieg mit Schwere der Dislokation der Fraktur und war nach offener Reposition länger als nach geschlossener. Eine umfangreiche aktuelle Studie von von Laer et al. [48] zeigt sehr ähnliche Ergebnisse bezüglich der Hospitalisationsdauer und deren Abhängigkeit von Dislokationsgrad und Repositionsweise. Die stationär behandelten Patienten kamen durchschnittlich 5,6 mal, die ambulant behandelten durchschnittlich 3,5 mal, zur klinischen Nachkontrolle. Von Laer et al. [48] sahen ihr gesamtes Patientenkollektiv im Durchschnitt 4,1 mal zur Kontrolle.

Die durchschnittliche **Immobilisationszeit** betrug 30 Tage \pm eine Woche, die 50iger Perzentile liegt bei 30 Tagen, so dass der Großteil der Kinder den verletzten Arm etwas länger als, mit drei bis vier Wochen, empfohlen ruhiggestellt bekam [1, 5, 17, 20, 46]. Die **Verweildauer des Fremdmaterials** lag, mit durchschnittlich 45 Tagen \pm 16 Tagen und einer 50iger Perzentile von 43,5 Tagen, ebenfalls über dem empfohlenen Zeitraum von drei bis sechs Wochen [17, 47]. Dieses deutet auf ein vorsichtiges, zurückhaltendes Vorgehen in Bezug auf das Vertrauen in die Konsolidierung der Fraktur hin. Angesichts der guten Erfahrungen anderer Autoren, die früher Immobilisation und Fremdmaterial entfernen, wäre hier sicher eine frühere Mobilisation möglich.

18,5% der Kinder bekamen im Laufe ihrer Behandlung **Physiotherapie** verordnet. Obwohl diese bei suprakondylären Humerusfrakturen ohne nervale Komplikationen allgemein für nicht nötig erachtet wird [1, 2, 4, 5, 7, 17, 20, 41], lag auch in einer aktuellen Arbeit von von Laer et al. [48] die Verordnungshäufigkeit bei 22%. Diese recht häufige Verordnung, von eigentlich nicht indizierter, Krankengymnastik lässt sich am ehesten mit dem Wunsch des Arztes erklären, dem Kind auf seinem Weg der Genesung helfen zu wollen und den drängenden Eltern eine weitere Therapie anbieten zu können. Aus ökonomischen Gründen sollte jedoch jede solcher Verordnungen bezüglich der Notwendigkeit hinreichend überprüft sein.

4.7 Komplikationen und deren Therapie

Die beobachteten **primären Durchblutungsstörungen** besserten sich, wie auch in der Literatur beschrieben [5, 20, 57], alle vollständig nach Reposition der Fraktur. Sie waren also durch Abknickung oder Kompression der Arterie und nicht durch eine, selten auftre-

tende [9, 17, 57], Verletzung der Arteria brachialis bedingt. Auch die **primären Nervenstörungen** waren nach Reposition erwartungsgemäß [5, 40, 45, 46, 49, 51, 54, 71] vollständig rückläufig, was auf eine Neurapraxie und keine strukturelle Nervenschädigung hinweist. Die erfolgreiche Behandlung dieser primären Störungen setzt aber zunächst einmal ihr Erkennen voraus. Die Notwendigkeit des Überprüfens von Durchblutung, Sensibilität und Motorik bei jedem Kind mit einer Fraktur kann also nicht deutlich genug betont werden.

Die sechs, nach primärer Therapie in anderen Häusern, wegen Komplikationen an die Kinderchirurgische Klinik der Charité überwiesenen Patienten sollen im Folgenden nur berücksichtigt werden, wenn durch die Behandlung in der Charité neue Komplikationen dazukamen. Im Folgenden wird nur auf die Komplikationen eingegangen, die erst in der Charité auftraten.

3,7% der durchgeführten **Repositionen** waren **ungenügend** und bedurften einer Nachreposition oder einer Behandlung in der Blount'schen Schlinge. Zu dieser Problematik liegen in der Literatur nur wenige Angaben vor, Sigge et al. [40] berichten 3,2% ungenügende Repositionen. Zu einer **sekundären Dislokation** kam es in 7% der Fälle, dieses liegt im Vergleich zu anderen Arbeiten im unteren Bereich der angegebenen Häufigkeiten von 6% bis 27% [10, 40, 51, 69, 70, 71]. Erstaunlicherweise dislozierten auch drei mit Kirschner-Drähten fixierte Frakturen, dieses ergibt einen Anteil von 3,4% sekundärer Dislokationen nach Drahtfixation. Dieser Anteil liegt bei Davis et al. [69] bei 4,9% und bei Weinberg et al. [10] bei 7,7%. Als Grund für diese Dislokation wäre das Kreuzen der Drähte auf Frakturebene denkbar [20]. Betrachtet man die Häufigkeit der sekundären Dislokation getrennt nach der Art der konservativen Ruhigstellung, so fällt ein deutlicher Unterschied auf. 15,9% aller allein mittels Oberarmgipslonguette ruhiggestellter Frakturen dislozierten sekundär, bei den in Blountscher Schlinge immobilisierten Frakturen waren dies nur 5,4%. Somit ist, nach den Ergebnissen dieser Arbeit, bei der konservativen Therapie bzw. bei der nichtinvasiven Ruhigstellung der Fraktur nach erfolgter Reposition, der Blountschen Schlinge der Vorzug zu geben, solange sie die Zirkulation im Arm nicht beeinträchtigt. Ausgenommen hiervon sind die Flexionsfrakturen, welche sich auf diese Weise nicht ausreichend stabilisieren lassen.

Postoperativ zeigte sich in 21 Fällen (18,1%) eine **Nervenstörung**, 15 Fälle betrafen dabei ausschließlich den Nervus ulnaris. Fünf der Ulnarisstörungen besserten sich nach Entfernung des ulnaren Drahtes, so dass sie eindeutig als durch den Kirschner-Draht bedingte

Störungen gesehen werden können. Dies ergibt eine Häufigkeit von 5,4 % Ulnarisstörungen nach Einbringen eines ulnaren Kirschner-Drahtes. Von anderen Autoren werden hierfür Inzidenzen von 0% bis 7% angegeben [20, 46, 50, 52, 59, 60, 61, 62, 63]. Die anderen Störungen des Nervus ulnaris traten ebenfalls nach Einbringen von ulnaren Drähten auf. Da diese bei den betroffenen Patienten aber nicht entfernt wurden, ist nicht festzustellen, ob die Schädigung durch die Reposition oder den Draht bedingt war. Fünf dieser Fälle wurden außerdem offen reponiert, was die Darstellung und Schonung des Nerven beinhaltet und somit eine Schädigung durch den Draht ausschließt. Die restlichen Nervenstörungen betrafen den Nervus medianus oder radialis oder waren kombinierte Störungen. Eines der Kinder erlitt durch ein Kompartmentsyndrom eine Schädigung aller Nerven der Hand. In zwei Fällen bestehen Zweifel, ob die Nervenstörung behandlungsbedingt war. Insgesamt ist der Prozentsatz der postoperativen Nervenstörungen, der in der Literatur mit 0% bis 18,2 % [10, 29, 44, 46, 50, 82] angegeben wird, mit 18,1% recht hoch. Es konnten aber zufrieden stellende Entwicklungen der nervalen Störungen beobachtet werden. Die Symptome der Patienten waren, bis auf vier Fälle, alle vollständig rückläufig. Zwei der Kinder mit Residuen klagten über Dys- bzw.- Parästhesien im Kleinfingerbereich, eines über ein leichtes Taubheitsgefühl im kleinen Finger. Nur das Kind mit dem Kompartmentsyndrom hatte funktionelle Einbußen im Sinne einer leichten Heberschwäche der Hand.

Zusammenfassend lässt sich zu, durch die Fraktur oder iatrogen, entstandenen **Nervenstörungen** sagen, dass sie eine sehr gute Prognose haben. Nach initialen Nervenschäden sollte gesucht, sie müssen dokumentiert und sorgfältig kontrolliert werden. Anlass zu großer Beunruhigung besteht aber nicht, denn diese und andere Studien [4, 5, 40, 45, 46, 49, 51, 52, 54, 55, 71] belegen, dass mit vollständiger Remission gerechnet werden darf und primär eine spezielle Therapie nicht nötig ist. Ein primärer Nervenschaden sollte, konform zu Meinung von Guther et al. [71] und Wilkins [8], keine Indikation zur offenen Reposition darstellen. Iatrogene Nervenstörungen sollten durch vorsichtige Reposition und exaktes Einbringen der Kirschner-Drähte möglichst vermieden werden, aber auch sie bilden sich, nach den Ergebnissen dieser und anderer Arbeiten [50, 52, 61, 82] fast immer vollständig zurück. Bleiben Residuen zurück, so liegen meist nur Parästhesien oder Sensibilitätsabschwächung in einem Teilbereich des Nerven vor [44, 71]. Die weiter bestehende motorische Einschränkung des Kindes mit der kompartmentsyndrom-bedingten Nervenstörung in dieser Studie ist sicherlich ein Sonderfall. In der gesichteten Literatur berichten nur Culp et al. [53] bzw. Schütz und Börner [44] von schlechter Rückbildungstendenz der primären

bzw. iatrogenen nervalen Störungen.

Bei 13,8 % der Patienten, die Kirschner-Drähte erhalten hatten, kam es im Drahtbereich zu einer **oberflächlichen Wundinfektion**, sechs mal bei perkutan eingebrachten Drähten, sechs mal nach offener Reposition mit versenkten Drähten, einmal ist nicht bekannt ob die Drähte die Haut durchtraten. Diese Rate ist deutlich höher als die in der Literatur, mit bei 0% bis 4,5% [7, 10, 59, 60], angegebene. Allerdings musste ungefähr die Hälfte der Betroffenen nicht oder nur lokal antiphlogistisch behandelt werden, es ist nicht klar ob diese leichten Fälle, bei denen teilweise nur der Verdacht auf eine Infektion bestand, in den Studien anderer Autoren auch berücksichtigt wurden. Tiefe Infektionen traten nicht auf.

Die meistgefürchtete Komplikation der Ellenbogenfraktur, das **Kompartmentsyndrom**, trat in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité in einem Fall auf. Durch frühzeitige Intervention konnte die Ausbildung einer Volkmann'schen Kontraktur verhindert werden und alle eingetretenen Defizite waren, bis auf eine leichte Heberschwäche der Hand, rückläufig. Das Auftreten dieser Komplikation, die mit einer Häufigkeit von ein bis drei Fällen auf 1000 suprakondyläre Humerusfrakturen [67] sehr selten ist und in den letzten aktuellen Studien nicht beobachtet wurde [10, 50, 57, 67, 69], zeigt, dass sie immer noch eine Gefahr für den Patienten darstellt. Symptome, die auf ein Kompartmentsyndrom hinweisen, müssen ernst genommen werden.

Im gesamten Patientengut kam es zu einer **Ellenbogenachsenänderung** um mehr als 5° im Sinne einer Varisierung in 5% und im Sinne eines Hypervalgus in 1,1%. Diese Zahlen sind im Vergleich zu Angaben anderer Autoren gering [7, 10, 17, 44], da aber nur ein Teil der Kinder nachuntersucht wurde und bei den anderen Patienten auf die Angaben in den Akten zurückgegriffen werden musste, ist es möglich, dass nicht alle Betroffenen erfasst wurden, was die Differenz zu den Angaben in der Literatur erklären könnte. 10,1% aller Patienten wiesen nach der Behandlung ihrer Fraktur eine **Bewegungseinschränkung** des Ellenbogens über 5° auf. Der Anteil der nach Flynn et al. [60] mit sehr gut, bezüglich der Funktion des Ellenbogens, bewerteten Patienten liegt also bei 89,9% und damit innerhalb des von 61% bis 94% angegebenen Bereichs der Häufigkeit der sehr guten Behandlungsergebnisse [7, 10, 17, 46, 59, 60].

4.8 Ergebnisse der Nachuntersuchung

Der **Anteil der nachuntersuchten stationären Fälle** liegt mit 32,5 % niedriger als der von anderen Autoren nachuntersuchte Patientenanteil von 46,2%-72% [10, 40, 44, 46, 51, 75,

83]. Hierbei muss aber beachtet werden, dass 23,6% der ehemaligen Patienten, wegen Verzug an einen anderen Wohnsitz, nicht erreicht werden konnten. Von den erreichten Patienten kamen 42,6 % zur Nachuntersuchung. Der **durchschnittliche Abstand vom Unfall bis zur Nachuntersuchung** war mit 38 Monaten \pm 16 Monate relativ lang, in anderen Arbeiten lag er aber auch bei 21 ± 17 Monaten [10], 37 Monaten [40], 55 Monaten [46] bzw. sogar 78 Monaten [4]. Somit bleibt unklar weshalb nur ein geringer Anteil der ehemaligen Patienten bereit war, sich noch einmal zur Nachuntersuchung vorzustellen.

Nach **subjektiven Beschwerden** gefragt, gaben 51,3% der Kinder an, völlig beschwerdefrei zu sein. Bei Schüz und Börner [44] waren dies 67,6% der Kinder und bei Webb und Sherman [75] 71,4%, wobei berücksichtigt werden muss, dass im Patientengut von Schüz und Börner 51,5% der Patienten eine Baumann I Fraktur hatten, bei Webb und Sherman waren es 68,6% und im Patientengut dieser Studie nur 12,5% . Leichte Schmerzen im Ellenbogen bei vermehrter Belastung, bestimmten Bewegungen oder Wetterwechsel gaben 20,5% der Patienten an, bei Guthier et al. [71] litten 24,4% an Schmerzen, in ihrem Patientengut waren Baumann I Frakturen mit 18,6% vertreten. 23,1% der Kinder klagten über eine Bewegungseinschränkung ihres Armes, bei Webb und Sherman [75] taten dies 14,3% und bei Guthier et al. [71] 23,6%. Eine Sensibilitätsstörung in einem Bereich der Hand gaben 7,7% der Kinder an, bei Guthier et al. [71] litten hierunter 1,2% der Kinder und bei Schüz und Börner [44] 8,8%. Ein Kind (2,6%) fühlte sich durch die Deformität seines Ellenbogens beeinträchtigt, bei Webb und Sherman [75] waren dies 11,4%. Darüber hinaus traten bei einigen Kindern Symptome wie gelegentliches Ziehen im Ellenbogen, Instabilitäts- oder Schwächegefühl oder erhöhte Druckempfindlichkeit des Ellenbogens auf. Zu diesen Beschwerden liegen in der Literatur keine Angaben vor. Ebenso gibt es in der gesichteten Literatur keine Angaben zu der **subjektiven Einschätzung der Behandlungsergebnisse** durch die Patienten bzw. deren Eltern. Auffällig ist, dass im eigenen Patientengut 79,6% der Befragten sowohl funktionelles als auch kosmetisches Ergebnis mit völlig oder im Allgemeinen zufrieden stellend beurteilten und dass im Vergleich zu den objektiven Behandlungsergebnissen besonders die Funktion als befriedigender empfunden wurde als sie objektiv war. Als Begründung hierfür fand sich im persönlichen Gespräch mit Patienten und Eltern, dass die Schwere der Fraktur und der eventuell komplikationsbelastete Therapieverlauf so erschreckend für die Betroffenen war, dass sie mit einem schlechteren Ergebnis gerechnet hatten.

Die **objektiven Behandlungsergebnisse** der Frakturen der nachuntersuchten Kinder wurden, angelehnt an Flynn et al. [60], zu 68,5% mit exzellent oder gut beurteilt. Nach Verwendung von Behandlungsverfahren, welche auch an der Kinderchirurgischen Klinik der Charité angewandt werden, bewerten Celiker et al. [59] 68% der behandelten Frakturen mit diesem Ergebnis, Ababneh et al. [51] 72,6%, Webb und Sherman [75] 80%, Pirone et al. [46] 85% und Kennedy et al. [83] 90,5%. Von einigen dieser Autoren wurden auch Behandlungsergebnisse nach Therapieformen, die in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité keine Anwendung finden, ausgewertet, diese wurden aus den oben genannten Prozentangaben herausgerechnet. Zur Beurteilung der Zahlen ist die Aufteilung des untersuchten Patientengutes auf die Schweregrade der Fraktur wichtig. In dieser Arbeit liegt die Verteilung auf die Klassifikation Baumann I:II:III bei 12,5%:37,5%:50%, bei Pirone et al. [46] bei 0%:39%:61%, bei Kennedy et al. [83] bei 0%:47,6%:52,4% und bei Webb und Sherman [75] hatten 68,6% eine Baumann I und 31,4% eine Baumann II oder III Fraktur. Bei Celiker et al. [59] werden keine Angaben hierzu gemacht, aber die Frakturen aller Patienten wurden reponiert, so dass davon auszugehen ist, dass nur Frakturen Baumann II oder III nachuntersucht wurden. Ababneh et al. [51] untersuchten ebenfalls nur dislozierte Frakturen. Mit mäßig bzw. ungenügend wurden im nachuntersuchten Patientengut der vorliegenden Arbeit 14,3% bzw. 17,1% der Behandlungsergebnisse beurteilt. Bei Celiker et al. [59] wurden 10,7% bzw. 21,3% der Ergebnisse so gewertet, bei Ababneh et al. [51] 5,9% bzw. 21,5%, bei Webb und Sherman [75] 6% bzw. 14%, bei Pirone et al. [46] 1,9% bzw. 13,1% und bei Kennedy et al. [83] 0% bzw. 9,5%. Die Beurteilung der Behandlungsergebnisse an der Kinderchirurgischen Klinik der Charité fällt, außer verglichen mit Celiker et al. [59], im Vergleich zu den Ergebnissen in den anderen angesprochenen Arbeiten relativ schlecht aus. Im Vergleich zu den Zahlen von Webb und Sherman [75] erklärt sich das durch den hohen Anteil nicht dislozierter Frakturen in deren Patientengut. Im Vergleich zu den anderen Arbeiten liegt ein Erklärungsansatz darin, dass im eigenen Patientenkollektiv nur 32,5% der Fälle nachuntersucht werden konnten, während dies bei Ababneh et al. [51] 65,9%, bei Pirone et al. [46] 72,3% und bei Kennedy et al. [83] 43,5% waren. Celiker et al. [59] machen hierzu keine Angaben. Berücksichtigt man weiterhin, dass, wie unter 3.7 erwähnt, unter den für diese Studie nachuntersuchten Patienten nur 22,5% keinerlei Komplikationen im Therapieverlauf erlitten, während dies unter den nicht nachuntersuchten stationären Patienten 57,8% waren, so liegt die Annahme nahe, dass besonders die Patienten, welche keinen ganz unkomplizierten Verlauf hatten nochmals zur Nachuntersuchung in die Klinik kamen, während die völlig komplikationsfrei therapierten dazu eher nicht bereit

waren. Ein weiterer Grund für die im Vergleich eher unbefriedigenden Behandlungsergebnisse könnte der Anteil der offen reponierten Fälle im eigenen nachuntersuchten Patientengut sein. Dieser liegt, bei den nach Flynn et al. [60] beurteilbaren Patienten, bei 42,9%. Bei Webb und Sherman [75] lag er bei 5,7%, bei Ababneh et al. [51] bei 39,3%, bei Pirone et al. [46] bei 3,5%, bei Kennedy et al. [83] bei 6% und bei Celiker et al. [59] bei 49,2%. Da die offene Reposition bei schwierigen Frakturen vorgenommen wird, die nicht geschlossen reponierbar sind, und hierbei iatrogen weiteres Weichteilgewebe geschädigt wird, ist nach offener Reposition eher mit Bewegungseinschränkungen zu rechnen. Ein niedriger Anteil von offen reponierten Fällen im nachuntersuchten Patientengut führt also eher zu einem durchschnittlich besseren Ergebnis bezüglich des Behandlungserfolges. Ababneh et al. [51] und Celiker et. al. [59] hatten einen ähnlichen Anteil offen reponierter Fälle wie diese Studie, ihre Nachuntersuchungsergebnisse kommen denen dieser Studie auch am nächsten.

Bewertet man die **Behandlungsergebnisse** der nachuntersuchten Patienten getrennt **nach den einzelnen Therapieverfahren**, so fällt auf, dass von den sechs in Oberarmgipsloguette ruhiggestellten Frakturen vier sekundär dislozierten und die anderen beiden mit exzellentem bzw. ungenügendem Ergebnis ausheilten. Im Vergleich hierzu dislozierte keine der primär oder sekundär mit Blountscher Schlinge immobilisierten fünf Frakturen und alle heilten mit exzellentem Ergebnis. Das häufigere Auftreten von sekundärer Dislokation im Gips konnte auch für das gesamte Patientenkollektiv dieser Arbeit gezeigt werden. Bei den Nachuntersuchungsergebnissen der geschlossen bzw. offen reponierten und mit Kirschner-Drähten versorgten Frakturen fällt auf, dass die geschlossen reponierten Fälle bessere Ergebnisse zeigen. Nach primärer oder sekundärer Behandlung mit geschlossener Reposition und Drahtversorgung hatten elf Patienten ein exzellentes bzw. gutes Ergebnis und nur einer ein mäßiges. Nach primär oder sekundär offen reponierter Fraktur und Drahtfixation kam es zu sieben exzellenten bzw. guten und acht mäßigen bzw. ungenügenden Ergebnissen. Erklärung hierfür ist, dass wesentlich häufiger bei schwer dislozierten Frakturen offen reponiert werden muss als dies bei leicht dislozierten der Fall ist. Die Undurchführbarkeit der geschlossenen Reposition weist auf eine besondere Schwere der Fraktur, auf Weichteilinterponat und damit verbundene Komplikationen hin. Ein weiterer Grund könnte der in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité ganz überwiegend genutzte dorsale Zugang bei der offenen Reposition sein. Dieser bedingt, nach Wilkins [8], durch iatrogene Verletzung der dorsalen Weichteile vermehrte Narbenbildung, damit Bewegungseinschränkung und schlechtere Behandlungsergebnisse. Er ist allerdings auch der Zugang über den die Fraktur

am leichtesten zu reponieren ist [17]. Es bleibt in weiteren, prospektiven Studien zu klären, welche Auswirkung die Wahl des Zuganges auf das Behandlungsergebnis hat.

Das **Behandlungsergebnis** nach **y-kondylärer Fraktur** war in einem Fall nicht beurteilbar, einmal exzellent und einmal mäßig. Das exzellente Ergebnis lag nach Behandlung mittels geschlossener Reposition und gekreuzten KD vor. Das mäßige Ergebnis entstand nach auswärtig begonnener Therapie mit einer Olecranonschraube zur Extensionsbehandlung und dann Behandlung in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité mit offener Reposition und gekreuzten und einem queren KD. Eine Interpretation dieser Ergebnisse ist auf Grund der geringen Fallzahl nicht möglich.

Die **Längenmessung der Arme** zeigte bei allen Patienten keinerlei Differenzen, dieses unterstützt die These, dass es nach suprakondylären Humerusfrakturen im Allgemeinen nicht zu relevanten Wachstumsstörungen kommt [2, 32]. Die Differenzen im **Ellenbogenumfang** waren gering.

Die entstandenen **Narben** waren zu 46,9% unauffällig, was ein wesentlich besseres Ergebnis als das von Mohammed und Rymaszewski [78] ist, denn diese befanden alle Narben als breit ausgezogen und unansehnlich. Eine Begründung hierfür ist offen.

Die seitengleiche, regelrechte **Durchblutung** bei allen Patienten wurde so auch von Guther et al. [71] beobachtet. Andere Autoren äußern sich hierzu nicht, beschreiben aber auch keine Durchblutungsprobleme.

Das Auftreten und der Verlauf von **Nervenstörungen**, auch die bei der Nachuntersuchung hierzu gefundenen Ergebnisse, wurden schon weiter oben, unter 4.7, ausführlich diskutiert, so dass auf erneute Bearbeitung dieses Themas hier verzichtet wird.

4.9 Radiologische Ergebnisse der konventionellen Röntgenaufnahmen

Zur **Anzahl** der durchgeführten radiologischen Kontrollen konnten in der Literatur keine Angaben gefunden werden. Durchschnittlich zwei bzw. drei Kontrollaufnahmen bei den ambulant bzw. stationär in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité behandelten Patienten sind aber sicherlich eine Anzahl, die den Frakturstand und die Konsolidierung ausreichend beurteilbar macht, das Kind aber nicht unnötig strahlenbelastet.

Die Ergebnisse der nochmals ausgewerteten Röntgenbilder der stationär behandelten Patienten sollen im Folgenden diskutiert werden. Dazu ist zu bemerken, dass die Bestimmung der einzelnen Winkel nicht immer einfach war, da es teils durch Gipslonguetten oder, bei

Behandlung mit Blountscher Schlinge, durch Spitzwinkelstellung des Armes zu Überlagerungen auf der Röntgenaufnahme kam. Weiterhin wurden die Bilder nicht durch einen erfahrenen Radiologen sondern durch die, in die Thematik eingearbeitete und von erfahrenen Mitarbeitern der Kinderchirurgischen Klinik der Charité unterstützte, Verfasserin dieser Arbeit ausgewertet. Diese Probleme fanden sich aber auch bei anderen Autoren, die zu diesem Thema Ergebnisse veröffentlichten und die meist auch die Röntgenaufnahmen selbst ausgewertet hatten und nicht durch einen Radiologen hatten auswerten lassen.

Wie zu erwarten, zeigten die initialen Röntgenbilder von Patienten mit einem höheren Schweregrad der Dislokation wesentlich häufiger einen nicht normal großen **Baumann Winkel** oder einen **Rotationsfehler**, als dies bei Patienten mit wenig dislozierten Frakturen der Fall war. Auch stiegen die Abweichung des Baumann Winkels von der Norm und die Größe des RFQ mit dem Schweregrad der Dislokation. Nach Reposition zeigten die Bilder einiger Patienten einen weiterhin bestehenden nicht normalen Baumann Winkel oder einen Rotationsfehler. Ob dies mit einer Änderung der Ellenbogenachse einherging konnte nur bei den nachuntersuchten Patienten überprüft werden. Hierbei fällt auf, dass zwei Patienten mit Achsabweichung des verletzten Armes weder Rotationsfehler noch unnormalen Baumann Winkel zeigten und neun Patienten trotz verändertem Winkel bzw. trotz Rotationsfehler eine normale Ellenbogenachse aufwiesen. Weiterhin war das Auftreten bzw. die Schwere einer Achsabweichung bei bestehendem Rotationsfehler nicht so vom RFQ abhängig, wie von Laer [20] dies postuliert, der einen $RFQ < 0,1$ für klinisch nicht relevant hält und Reposition nur bei einem $RFQ > 0,1$ fordert. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit und Pompino [84] widersprechen dieser Meinung von von Laer. Ob es durch einen Rotationsfehler zu einer Achsabweichung des Ellenbogens kommt und wie stark dieser ausgeprägt sein wird, lässt sich mittels RFQ nicht voraussagen, daher muss jeglicher Rotationsfehler reponiert werden. Die Möglichkeit der Vorhersage der Achsabweichung mit Hilfe des Baumannschen Winkels wird kontrovers diskutiert. Webb und Sherman [75] und France und Strong [85] fanden Baumann Winkel und Ellenbogenachse signifikant korreliert. Bei Resch und Helweg [72] und von Laer [32] stimmten dagegen die aus dem Baumann Winkel berechneten Ellenbogenachsen nur in 41% bzw. 45% mit den klinisch gemessenen Achsen überein. Weinberg et al. [10] fanden in 16% der Fälle erhebliche Unterschiede zwischen der klinischen Ellenbogenachse und der nach Baumannschem Winkel erwarteten. Keenan und Clegg [86] untersuchten die Ellenbogen von 577 Kindern und fanden, dass der Baumann Winkel bei Jungen von 64° bis 82° und bei Mädchen von

69° bis 81° reichte. Auf Grund dieser Variabilität befinden sie es als unkorrekt einen Baumann Winkel im üblichen Normbereich als Zeichen einer erfolgreichen Reposition zu werten, da ohne Kenntnis des Winkels der gesunden Seite, selbst bei einem Winkel im Normbereich, eine erhebliche Achsabweichung vorliegen kann. Mittels eines Computerprogramms zeigten außerdem Mohammad et al. [73], dass, wenn das distale Fragment bei der suprakondylären Humerusfraktur mehr als 10° rotiert ist, es keinen linearen Zusammenhang zwischen Baumann Winkel und Ellenbogenachse mehr gibt. Der Baumannsche Winkel kann also, ebenso wie der RFQ, nur als unsicheres Hilfsmittel zur Vermeidung einer Achsabweichung des Ellenbogens dienen, was die Schwierigkeit des Verhinderns dieser häufigsten Komplikation der suprakondylären Humerusfraktur zeigt.

Die initialen Röntgenbilder zeigten bei den höhergradig dislozierten Frakturen erwartungsgemäß mehr und größere Abweichungen des **Epiphysenachsenwinkels** von der Norm als bei den kaum dislozierten Frakturen. Allerdings wurden die meisten nicht normalen Epiphysenachsenwinkel und die meisten **Achsknicke in der Sagittalebene** bei Baumann II Frakturen gesehen. Dieses kann darin begründet sein, dass bei Baumann III Frakturen die Röntgenbilder oft diesbezüglich nicht auswertbar waren. Nach Reposition hatten noch 32% der Kinder mit beurteilbaren Röntgenbildern eine Antekurvation und 10,7% eine Rekurvation. Bei Weinberg et al. [10] waren dies 17% bzw. 7% und bei Kutscha-Lissberg und Rauhs [7] 34% bzw. 0%. Wobei von diesen Autoren nicht genannt wird, ob sie auch geringe Achsknicke von <5°, wie es bei der vorliegenden Arbeit getan wurde, oder erst größere Achsabweichungen als weiter bestehenden Achsknick zählten. Die Gegenüberstellung von höhergradigen weiter bestehenden Achsknicken und den damit verbundenen Epiphysenachsenwinkeln zeigte, dass der Epiphysenachsenwinkel bei Antekurvation nicht immer vermindert und bei Rekurvation nicht zuverlässig erhöht ist. Trotz größerem Winkel zwischen distalem und proximalem Fragment, bestand in sechs von 15 Fällen ein normaler Epiphysenachsenwinkel. 28 Kinder hatten einen nicht normalen Winkel ohne das ein Achsknick vorlag oder ohne das dieser größer 10° war. Diese lässt sich damit erklären, dass der Epiphysenwinkel zwar normalerweise 30°-50° groß ist, aber zwischen 25° und 65° variieren kann [9]. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen also, dass der Epiphysenachsenwinkel, welcher oft schwierig zu bestimmen und dessen Messung dadurch fehlerbehaftet ist [32, 75], kein geeigneter Parameter zur Abschätzung des Ausmaßes eines Achsknickes in der Sagittalebene ist. Die direkte Messung des Winkels zwischen Achse des distalen und proximalen Fragmentes ist als einzige aussagekräftig. Die Arbeiten von Webb und

Sherman [75] und Schüz und Börner [44] zeigen außerdem, dass der Epiphysenachsenwinkel keine Aussage über das funktionelle Ergebnis der Fraktur zulässt.

5 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der suprakondylären und y-kondylären Humerusfraktur im Kindesalter. Ziel war es, für die im Zeitraum vom 01.04.1996 bis zum 30.04.2001 in der Kinderchirurgischen Klinik der Charité behandelten Kinder, die Unfallursachen zu erfassen und die Behandlungsverfahren, die aufgetretenen Komplikationen und die Behandlungsergebnisse im Vergleich mit anderen Autoren auszuwerten. Hieraus sollte sich eine Beurteilung der einzelnen Behandlungsverfahren ergeben, es sollte über die Erfahrungen mit der seltenen y-kondylären Fraktur berichtet werden und besondere Beachtung sollte den primären und sekundären Nervenverletzungen zukommen. Weiterhin sollten einige, in der konventionellen radiologischen Diagnostik verwendete, Hilfsparameter auf ihre Aussagekraft überprüft werden.

Das Patientengut bestand aus 123 stationär und 55 ambulant behandelten Kindern im Alter von einem bis dreizehn Jahren bei Unfall. Das Durchschnittsalter lag bei 5,4 Jahren. 56,7% waren Jungen, 43,3% Mädchen. Einschlusskriterium in die Studie war die stationäre Behandlung oder, bei ambulanten Patienten, die mindestens einmalige Wiedervorstellung nach der Primärversorgung in der Rettungsstelle. Als operative Therapie wurden im Rahmen dieser Arbeit alle in Narkose durchgeführten Eingriffe verstanden.

Zur Datenakquisition wurden die Akten der Kinder anhand einer ausgearbeiteten Checkliste ausgewertet. Die Familien der stationär behandelten Kinder wurden gebeten, ihr Kind nochmals zu Nachuntersuchung vorzustellen und die Röntgenbilder der stationären Fälle wurden nachbefundet. Es konnten 32,5% der stationären Fälle nachuntersucht werden.

Die meisten Frakturen ereigneten sich in den Monaten April bis September. Zum Unfall kam es meist am Nachmittag zu hause oder auf dem Spielplatz. Häufigste Unfallursache war zu 70,8% ein Sturz aus der Höhe, zu 19% ein Sturz zu ebener Erde.

Zur primären Diagnostik der Frakturen dienten konventionelle Röntgenbilder, auf die vergleichende Aufnahme des gesunden Armes wurde verzichtet.

172 der Patienten dieser Studie hatten eine suprakondyläre, 6 eine y-kondyläre Humerusfraktur. Die Beurteilung des Dislokationsgrades nach der Klassifikation von Baumann ergab bei 35,4% der Frakturen Baumann I, bei 33,1% Baumann II und bei 31,5% Baumann

III. Auch die suprakondyläre Komponente der y-kondylären Frakturen wurde nach Baumann eingeteilt, die Beurteilung der Dislokation der kondylären Fragmente untereinander nach Riseborough und Radin ergab vier mal Grad I und zwei mal Grad II. Bei 92% aller Frakturen handelte es sich um Extensionsfrakturen.

Neun Patienten litten primär durch die Fraktur bedingt an einer nervalen Störung. Zwei mal war der Nervus ulnaris, vier mal der Nervus medianus, zwei mal der Nervus radialis und ein mal alle Nerven der Hand betroffen. Zu primären Durchblutungsstörungen kam es in sieben Fällen. Die primären Nerven- und Durchblutungsstörungen bildeten sich nach Reposition alle vollständig zurück.

34,8% der Frakturen wurden konservativ therapiert, wobei die Ruhigstellung mittels Gipslonguette/n (58%), Delta lite Verband (1,6%) und die Methode nach Blount (40,3%) Anwendung fanden. 65,2% der Patienten wurden operativ therapiert. 18,2% wurden geschlossen reponiert und erhielten eine Ruhigstellung des Armes mittels Gipslonguette/n oder Blountscher Schlinge. 36,3% wurden geschlossen reponiert und mit Kirschner-Drähten fixiert. 43,6% wurden offen reponiert und mit Drähten fixiert, wobei in 95,7% ein dorsaler Zugang für die offene Reposition verwendet wurde.

Als Komplikation nach Behandlung wurden folgende Probleme und Störungen gesehen. In 3,7% der Fälle wurde eine ungenügende Reposition festgestellt. In 7% kam es zur sekundären Dislokation der Fraktur, wobei dies bei Ruhigstellung im Gipsverband wesentlich häufiger auftrat als bei Ruhigstellung in Blountscher Schlinge. 18,1% der Patienten zeigten eine sekundäre Nervenstörung. Ein Kind entwickelte ein Kompartmentsyndrom. Zur Abweichung der Ellenbogenachse über 5° im Vergleich zum gesunden Arm kam es in 6,2% der Fälle und eine Bewegungseinschränkung über 5° im Vergleich zum gesunden Arm zeigten 10,1% der Kinder.

Bei der Nachuntersuchung der stationären Patienten zeigten, angelehnt an die Bewertungskriterien von Flynn et al., 57,1% ein exzellentes, 11,4% ein gutes, 14,3% ein mäßiges und 17,1% ein ungenügendes Behandlungsergebnis. 5 Fälle waren nicht beurteilbar. Drei der nachuntersuchten Kinder klagten über Sensibilitätsstörungen im Bereich des N. ulnaris, im Sinne von Taubheitsgefühl, Parästhesie oder Dysästhesie.

Die Röntgenbilder von 115 stationär behandelten Patienten wurden bezüglich Baumann Winkel, Rotationsfehler, Rotationsfehlerquotient, Epiphysenachsenwinkel und dem Winkel zwischen dem distalen und dem proximalen Fragment nachbefundet, wobei nicht alle

Parameter auf allen Bildern beurteilbar waren. Nach Behandlung zeigten noch 24 von 108 Patienten einen pathologischen Baumann Winkel, 22 von 113 einen Rotationsfehler, 37 von 103 einen pathologischen Epiphysenachsenwinkel und 48 von 112 einen Achsknick zwischen distalem und proximalen Fragment. Diese radiologischen Auffälligkeiten hatten jedoch nicht immer ein klinisches Korrelat.

Die Zusammensetzung des Patientengutes dieser Arbeit in Alter und Geschlecht, beobachteter Unfallzeit, -ort und -art, sowie die Häufigkeit des Auftretens von primären Nerven- und Durchblutungsstörungen liegen im Bereich des im Allgemeinen für die suprakondyläre Humerusfraktur Beschriebenen. Die im Rahmen dieser Studie untersuchten Fälle sind also repräsentativ für die suprakondyläre Humerusfraktur. Was die Auswertung der Ergebnisse dieser Arbeit im Vergleich zu anderen Arbeiten etwas schwierig macht, ist die teils sehr unterschiedliche Zusammensetzung des Patientenguts anderer Autoren bezüglich des Schweregrades der Dislokation.

Die Auswertung der Ergebnisse dieser Arbeit im Vergleich mit den Ergebnissen anderer Autoren lässt folgende Schlüsse zu.

- Nicht dislozierte Frakturen sollten im Oberarmgipsverband oder in einer Blountschen Schlinge ruhiggestellt werden. Liegt keine Flexionsfraktur vor und lassen die Durchblutungsverhältnisse es zu, ist die Blountsche Schlinge zu bevorzugen, da sie eine sekundäre Dislokation wirkungsvoller verhindert.
- Dislozierte Frakturen sollten möglichst schonend geschlossen reponiert werden, da dieses bessere Behandlungsergebnisse als die offene Reposition liefert. Die definitivste Methode des Retinierens des Repositionsergebnisses ist das Einbringen von Kirschner-Drähten. Gekreuzte KD können die Fraktur sicher halten und die Gefahr einer iatrogenen Ulnarisläsion ist bei korrektem Einbringen gering. Sollte es doch zu einer Schädigung des Nerven durch den Draht kommen, so bildet sich diese nach umgehender Entfernung des Drahtes im Großteil der Fälle vollständig zurück. Soll die, nach Reposition gut fixierbare, nicht vollständig dislozierte, Fraktur nicht invasiv retiniert werden, so ist auch hier die Methode nach Blount zu bevorzugen.
- Primäre Nervenstörungen sind bei der suprakondylären Humerusfraktur nicht selten, meist betreffen sie den Nervus medianus oder radialis. Sie bilden sich nach Reposition der Fraktur meist vollständig zurück. Auch postoperative Nervenstörungen, meist den Nervus ulnaris betreffend, haben eine gute Prognose. Residuen sind selten und

betreffen meist nur die Sensibilität in Teilbereichen des Nervengebietes in Form von Parästhesien oder Taubheitsgefühl.

- Primäre Durchblutungsstörungen verschwinden meist umgehend nach Reposition der Fraktur. Trotz seiner Seltenheit muss, wegen der Schwere der Folgen, im Verlauf der Frakturbehandlung auf Anzeichen eines beginnenden Kompartmentsyndromes geachtet werden und eine schnelle Intervention ist ggf. nötig. Dass es auch heute noch zum selten gewordenen Kompartmentsyndrom kommen kann, zeigt diese Arbeit.
- Zur Prävention einer Bewegungseinschränkungen des Armes nach suprakondylärer Humerusfraktur sollte exakt und schonend, wenn möglich geschlossen, reponiert und das Repositionsergebnis definitiv fixiert werden. Der Epiphysenachsenwinkel in der seitlichen Röntgenaufnahme bietet, auf Grund seiner nicht immer sicheren Bestimmbarkeit und der großen Variationsbreite seiner Norm, keinen sicheren Anhalt für eine zu erwartende Einschränkung der Flexion oder Extension des Ellenbogens. Im Röntgenbild gesehene Achsknicke zwischen Achse des distalen und proximalen Fragmentes müssen reponiert werden, obwohl hier eine gewisse Selbstkorrektur im Rahmen des Wachstums besteht.
- Um eine Änderung der Ellenbogenachse zu vermeiden, ist ebenfalls eine möglichst genaue Reposition nötig. Der Baumannsche Winkel im a.p. Röntgenbild gibt hierbei nur eine Orientierung, da die Variationsbreite seines Normwertes es nicht zulässt von einem Winkel im Normbereich auf eine korrekte Reposition zu schließen, so lange man nicht den Baumann Winkel des unverletzten Armes kennt. Jeder gesehene Rotationsfehler muss beseitigt werden, der Rotationsfehlerquotient lässt keine Vorhersage der Änderung der Ellenbogenachse und damit keine Entscheidung über die Notwendigkeit einer Reposition zu.
- Die y-kondylären Frakturen, die im Rahmen dieser Studie ausgewertet wurden, zeigten keine oder nur geringe Dislokation zwischen den Kondylenfragmenten. Diese Frakturen lassen sich primär wie suprakondyläre Frakturen behandeln. Nur zwei Frakturen, die, teils ungenügend, in anderen Kliniken vorbehandelt worden waren, mussten nach eingetretenen Komplikationen zusätzlich mit einer Fixation der Kondylenfragmente untereinander versorgt werden.

6 Literaturverzeichnis

- [1] Blount, W. P. (1957): Knochenbrüche bei Kindern, Thieme Verlag, Stuttgart.
- [2] Baumann, E. (1965): Ellenbogen (Band II/1), Nigst, H., Spezielle Frakturen- und Luxationslehre, Thieme Verlag, Stuttgart.
- [3] Goudarzi, Y. M. (1987): Indikationsbereiche der verschiedenen Behandlungsverfahren zur Therapie der suprakondylären Humerusfrakturen im Kindesalter, Unfallchirurgie (Band 13), Nr. 1, Seite 8-13.
- [4] Dallek, M.; Mommsen, U.; Jungbluth, K. H. und Kahl, H. J. (1985): Die suprakondyläre Humerusfraktur im Kindesalter, ihre Bahndlung und Ergebnisse nach der Methode von Blount, Unfallchirurgie (Band 11), Seite 192-196.
- [5] Gartland, J. J. (1959): Managment of supracondylar fractures of the humerus in children, Surg Gynec and Obstet (Band 109), Seite 145-154.
- [6] Landin, L. A. und Danielsson, L. G. (1986): Elbow fractures in children. An epidemiological analysis of 589 cases, Acta Orthop Scand (Band 57), Nr. 4, Seite 309-12.
- [7] Kutscha-Lissberg, E. und Rauhs, R. (1974): Frische Ellenbogenverletzungen im Wachstumsalter, Hefte Unfallheilkd (Band 118), Seite 1.
- [8] Wilkins, K. E. (1990): The operative management of supracondylar fractures, Orthop Clin North Am (Band 21), Nr. 2, Seite 269-89.
- [9] McIntyre, W. (1994): Supracondylar fractures of the humerus, Mervyn Letts, R., Management of pediatric fractures, Churchill Livingstone, New York, Edinburgh, London, Madrid, Melbourne, Tokyo.
- [10] Weinberg, A. M.; Marzi, I.; Gunter, S. M.; Wessel, L.; Riedel, J. und von Laer, L. (2002): Die suprakondyläre Oberarmfraktur im Kindesalter - eine Effizienzstudie. Ergebnisse der multizentrischen Studie der Sektion Kindertraumatologie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie - Teil I: Epidemiologie, Effektivitätsprüfung und Klassifikation, Unfallchirurg (Band 105), Nr. 3, Seite 208-16.
- [11] Re, P. R.; Waters, P. M. und Hresko, T. (1999): T-condylar fractures of the distal humerus in children and adolescents, J Pediatr Orthop (Band 19), Nr. 3, Seite 313-8.
- [12] Benninghoff und Drenckhahn (2003): Anatomie - makroskopische Anatomie, Histologie, Embryologie, Zellbiologie (Band 1), 16. Auflage, Drenckhahn, D., Urban & Fischer, München, Jena.
- [13] Waldeyer (2003): Anatomie des Menschen, 17. Auflage, Fanghänel F., Pera F., Anderhuber F., Nitsch R., de Gruyter, Berlin, New York.
- [14] Smith, L. (1960): Deformity following supracondylar fractures of the humerus, J Bone Joint Surg Am (Band 42-A), Seite 235-252.
- [15] von Laer, L.; Brunner, R. und Lampert, C. (1991): Fehlverheilte suprakondyläre und kondyläre Humerusfrakturen, Orthopade (Band 20), Nr. 6, Seite 331-40.
- [16] Baumann, E. (1929): Beiträge zur Kenntnis der Frakturen am Ellenbogengelenk. Unter besonderer Berücksichtigung der Spätfolgen, Bruns Beitr klin Chir (Band 146), Seite 1-50.
- [17] Magerl, F. und Zimmermann, H. (1980): Supracondyläre Humerusfrakturen, Weber, B. G.; Brunner, Ch. und Freuler, F., Die Frakturenbehandlung bei Kindern und Jugendlichen, Springer Verlag, Berlin - Heidelberg - New York.

- [18] Lins, R. E.; Simovitch, R. W. und Waters, P. M. (1999): Pediatric elbow trauma, Orthop Clin North Am (Band 30), Nr. 1, Seite 119-32.
- [19] Lubinus, F. (1924): Über den Entstehungsmechanismus und die Therapie der suprakondylären Humerusfraktur, Dt Z Chir (Band 186), Seite 289-350.
- [20] von Laer, L. (1996): Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter, Thieme Verlag, Stuttgart-New York.
- [21] Bryan, R. S. und Bickel, W. H. (1971): "T" condylar fractures of distal humerus, J Trauma (Band 11), Nr. 10, Seite 830-5.
- [22] Schickedanz, H.; Maag, G. und Schurer, E. (1981): Suprakondyläre Humerusfrakturen bei Kindern, Beitr Orthop Traumatol (Band 28), Nr. 1, Seite 12-8.
- [23] Boehnel, P. (1978): Unfallursachen der kindlichen supra-, trans- und percondylären Humerusfrakturen, Hefte Unfallheilkd, Nr. 130, Seite 304-5.
- [24] Felsenreich, F. (1931): Kindliche suprakondyläre Humerusfrakturen und posttraumatische Deformitäten des Ellenbogens, Arch Orthop Unfallchir (Band 29), Seite 555-578.
- [25] Wahl, D.; Lent, G. und Kurth, Ch. (1979): Über die Einteilung der kindlichen suprakondylären Humerusfrakturen und ihren praktischen Wert, Zbl Chir (Band 104), Seite 1393-1401.
- [26] Jarvis, J. G. und D'Astous, J. L. (1984): The pediatric T-supracondylar fracture, J Pediatr Orthop (Band 4), Nr. 6, Seite 697-9.
- [27] Papavasiliou, V. A. und Beslikas, T. A. (1986): T-condylar fractures of the distal humeral condyles during childhood: an analysis of six cases, J Pediatr Orthop (Band 6), Nr. 3, Seite 302-5.
- [28] Ruiz, A. L.; Kealey, W. D. und Cowie, H. G. (2001): Percutaneous pin fixation of intercondylar fractures in young children, J Pediatr Orthop B (Band 10), Nr. 3, Seite 211-3.
- [29] Farnsworth, C. L.; Silva, P. D. und Mubarak, S. J. (1998): Etiology of supracondylar humerus fractures, J Pediatr Orthop (Band 18), Nr. 1, Seite 38-42.
- [30] Wu, J.; Perron, A. D.; Miller, M. D.; Powell, S. M. und Brady, W. J. (2002): Orthopedic pitfalls in the ED: pediatric supracondylar humerus fractures, Am J Emerg Med (Band 20), Nr. 6, Seite 544-50.
- [31] Kauffmann, G.; Moser, E. und Sauer, R. (2001): Radiologie, Urban&Fischer, München - Jena.
- [32] von Laer, L. (1979): Die supracondyläre Humerusfraktur im Kindesalter, Arch Orthop Trauma Surg (Band 95), Nr. 1-2, Seite 123-40.
- [33] McRae, R. (1984): Praxis der Frakturenbehandlung, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart - New York.
- [34] von Laer, L. (1978): Posttraumatische Fehlstellungen und Wachstumsstörungen nach Ellenbogenverletzungen im Kindesalter, Z Kinderchir (Band 24), Seite 30-39.
- [35] Arino, V. L.; Lluch, E. E.; Ramirez, A. M.; Ferrer, J.; Rodriguez, L. und Baixauli, F. (1977): Percutaneous fixation of supracondylar fractures of the humerus in children, J Bone Joint Surg Am (Band 59), Nr. 7, Seite 914-6.
- [36] von Ekesparre, W. (1978): Die Behandlung der suprakondylären Humerusfraktur, Z Kinderchir (Band 23), Seite 211-213.
- [37] Palmer, E. E.; Niemann, K. M.; Vesely, D. und Armstrong, J. H. (1978): Supracondylar fracture of the humerus in children, J Bone Joint Surg Am (Band 60), Nr.

- 5, Seite 653-6.
- [38] Böhler, J. (1959): Gedeckte Bohrdrahtosteosynthese kindlicher supracondylärer Oberarmbrüche, *Chir Praxis* (Band 3), Seite 397-400.
 - [39] Witt, A. N. (1955): Zur operativen Behandlung der suprakondylären Humerusfraktur im Kindesalter, *Chirurg* (Band 26), Seite 488-491.
 - [40] Sigge, W.; Behrens, K.; Roggenkamp, K. und Würtenberger, H. (1987): Vergleich von Blountscher Schlinge und Kirschner-Drahtfixation zur Behandlung der dislozierten suprakondylären Humerusfraktur im Kindesalter, *Unfallchirurgie* (Band 13), Seite 82-90.
 - [41] Baumgartner, R.; Herzog, B. und Jani, L. (1975): Die gedeckte Bohrdrahtosteosynthese, eine einfache Methode zur Behandlung dislozierter suprakondylärer Humerusfrakturen beim Kind, *Helv Chir Acta* (Band 42), Nr. 1-2, Seite 15-8.
 - [42] D'Ambrosia, R. D. (1972): Supracondylar fractures of humerus--prevention of cubitus varus, *J Bone Joint Surg Am* (Band 54), Nr. 1, Seite 60-6.
 - [43] Arnold, J. A.; Nascia, R. J. und Nelson, C. L. (1977): Supracondylar fractures of the humerus: the role of dynamic factors in prevention of deformity, *J Bone Joint Surg Am* (Band 59), Nr. 5, Seite 589-95.
 - [44] Schüz, W. und Börner, M. (1985): Indikation zur operativen und konservativen Behandlung der kindlichen suprakondylären Oberarmfraktur sowie deren Ergebnisse, *Unfallchirurgie* (Band 11), Seite 17-27.
 - [45] The, R. M. und Severijnen, R. S. (1999): Neurological complications in children with supracondylar fractures of the, *Eur J Surg* (Band 165), Nr. 3, Seite 180-2.
 - [46] Pirone, A. M.; Graham, H. K. und Krajbich, J. I. (1988): Management of displaced extensio-type supracondylar fractures of the humerus in children, *J Bone Joint Surg Am* (Band 70-A), Seite 641-650.
 - [47] Böhler, J. (1955): Gekreuzte Bohrdrähte, ein einfaches Prinzip der Osteosynthese, *Arch Orthop Unfallchir* (Band 47), Seite 242-254.
 - [48] von Laer, L.; Gunter, S. M.; Knopf, S. und Weinberg, A. M. (2002): Die suprakondyläre Oberarmfraktur im Kindesalter - eine Effizienzstudie. Ergebnisse der multi-zentrischen Studie der Sektion Kindertraumatologie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie - Teil II: Aufwand und Nutzen der Behandlung, *Unfallchirurg* (Band 105), Nr. 3, Seite 217-23.
 - [49] Hördegen, K. M. (1970): Neurologische Komplikationen bei kindlichen suprakondylären Humerusfrakturen (Schicksal und therapeutische Richtlinien), *Arch Orthop Unfallchir* (Band 68), Nr. 4, Seite 294-307.
 - [50] Gosens, T. und Bongers, K. J. (2003): Neurovascular complications and functional outcome in displaced supracondylar fractures of the humerus in children, *Injury* (Band 34), Nr. 4, Seite 267-73.
 - [51] Ababneh, M.; Shannak, A.; Agabi, S. und Hadidi, S. (1998): The treatment of displaced supracondylar fractures of the humerus in, *Int Orthop* (Band 22), Nr. 4, Seite 263-5.
 - [52] Brown, I. C. und Zinar, D. M. (1995): Traumatic and iatrogenic neurological complications after supracondylar, *J Pediatr Orthop* (Band 15), Nr. 4, Seite 440-3.
 - [53] Culp, R. W.; Osterman, A. L.; Davidson, R. S.; Skirven, T. und Bora, F. W., Jr. (1990): Neural injuries associated with supracondylar fractures of the humerus in, *J Bone Joint Surg Am* (Band 72), Nr. 8, Seite 1211-5.
 - [54] McGraw, J. J.; Akbarnia, B. A.; Hanel, D. P.; Keppler, L. und Burdge, R. E.

- (1986): Neurological complications resulting from supracondylar fractures of the, J Pediatr Orthop (Band 6), Nr. 6, Seite 647-50.
- [55] Campbell, C. C.; Waters, P. M.; Emans, J. B.; Kasser, J. R. und Millis, M. B. (1995): Neurovascular injury and displacement in type III supracondylar humerus, J Pediatr Orthop (Band 15), Nr. 1, Seite 47-52.
- [56] Reitman, R. D.; Waters, P. und Millis, M. (2001): Open reduction and internal fixation for supracondylar humerus fractures in children, J Pediatr Orthop (Band 21), Nr. 2, Seite 157-61.
- [57] Kelsch, G.; Savvidis, E.; Jenal, G. und Parsch, K. (1999): Begleitende Gefäßkomplikationen bei suprakondylären Humerusfrakturen des Kindes, Unfallchirurg (Band 102), Nr. 9, Seite 708-15.
- [58] Haasbeek, J. F. und Cole, W. G. (1995): Open fractures of the arm in children, J Bone Joint Surg Br (Band 77), Nr. 4, Seite 576-81.
- [59] Celiker, O.; Pestilci, F. I. und Tuzuner, M. (1990): Supracondylar fractures of the humerus in children: analysis of the, J Orthop Trauma (Band 4), Nr. 3, Seite 265-9.
- [60] Flynn, J. C.; Matthews, J. G. und Benoit, R. L. (1974): Blind pinning of displaced supracondylar fractures of the humerus in children. Sixteen years' experience with long-term follow-up, J Bone Joint Surg Am (Band 56), Nr. 2, Seite 263-72.
- [61] Royce, R. O.; Dutkowsky, J. P.; Kasser, J. R. und Rand, F. R. (1991): Neurologic complications after K-wire fixation of supracondylar humerus, J Pediatr Orthop (Band 11), Nr. 2, Seite 191-4.
- [62] Ikram, M. A. (1996): Ulnar nerve palsy: a complication following percutaneous fixation of, Injury (Band 27), Nr. 5, Seite 303-5.
- [63] Kutscha-Lissberg, E.; Rauhs, R. und Wagner, M. (1978): Behandlungsergebnisse von 136 suprakondylären Humerusfrakturen im Wachstumsalter, Z Kinderchir (Band 23), Seite 213.
- [64] Fujioka, H.; Nakabayashi, Y.; Hirata, S.; Go, G.; Nishi, S. und Mizuno, K. (1995): Analysis of tardy ulnar nerve palsy associated with cubitus varus, J Orthop Trauma (Band 9), Nr. 5, Seite 435-40.
- [65] Volkmann, R. (1881): Die ischämischen Muskellähmungen und -Kontrakturen, Centralblatt für Chirurgie (Band 51), Seite 801-803.
- [66] Uebermuth, H. und Bertolini, R. (1967): Warum tritt die ischämische Kontraktur nur bei Kindern auf?, Zbl Chir (Band 3), Seite 101.
- [67] Battaglia, T. C.; Armstrong, D. G. und Schwend, R. M. (2002): Factors affecting forearm compartment pressures in children with supracondylar fractures of the humerus, J Pediatr Orthop (Band 22), Nr. 4, Seite 431-9.
- [68] Schink, W. (1968): Die Fractura supracondylica humeri und die ischämische Kontraktur im Kindesalter, Chirurg (Band 39), Nr. 9, Seite 417-24.
- [69] Davis, R. T.; Gorczyca, J. T. und Pugh, K. (2000): Supracondylar humerus fractures in children. Comparison of operative treatment methods, Clin Orthop, Nr. 376, Seite 49-55.
- [70] Goudarzi, Y. M. (1980): Die Behandlung der suprakondylären Humerusfraktur bei Kindern und Jugendlichen, Akt Traumatol (Band 10), Seite 153-158.
- [71] Guthrie, R.; Schramm, H. und Schmid, D. (1988): Komplikationen und Spätergebnisse in der Behandlung der kindlichen suprakondylären Humerusfraktur, Zentralbl Chir (Band 113), Nr. 14, Seite 893-8.

- [72] Resch, H. und Helweg, G. (1987): Die Bedeutung des Rotationsfehlers bei der suprakondylären Oberarmfraktur des Kindes, Aktuelle Traumatol (Band 17), Nr. 2, Seite 65-72.
- [73] Mohammad, S.; Rymaszewski, L. A. und Runciman, J. (1999): The Baumann angle in supracondylar fractures of the distal humerus in, J Pediatr Orthop (Band 19), Nr. 1, Seite 65-9.
- [74] Hasler, C. und von Laer, L. (1998): Schraubenosteosynthese bei dislozierten Frakturen des Condylus radialis humeri im Wachstumsalter, Unfallchirurg (Band 101), Seite 280-286.
- [75] Webb, A. J. und Sherman, F. C. (1989): Supracondylar fractures of the humerus in children, J Pediatr Orthop (Band 9), Nr. 3, Seite 315-25.
- [76] Hothorn, W. und Hünicke, H. (1976): Konservative Behandlung kindlicher supracondylärer Humerusfrakturen, Zbl Chir (Band 101), Seite 1611-1613.
- [77] Festge, O. A.; Tischer, W.; Schwock, G.; Christiansen, C. und Estel, S. (1980): Nachuntersuchungen ellengobengelenksnaher Humerusfrakturen bei Kindern, Zentralbl Chir (Band 105), Nr. 11, Seite 710-20.
- [78] Mohammed, S. und Rymaszewski, L. A. (1995): Supracondylar fractures of the distal humerus in children, Injury (Band 26), Nr. 7, Seite 487-9.
- [79] Vlahovic, T. und Bumci, I. (2002): Biomechanical evaluation of the value of osteosynthesis in supracondylar fracture of the humerus using kirschner pins in children, Eur J Pediatr Surg (Band 12), Seite 410-415.
- [80] Onwuanyi, O. N. und Nwobi, D. G. (1998): Evaluation of the stability of pin configuration in K-wire fixation of displaced supracondylar fractures in children, Int Surg (Band 83), Seite 271-274.
- [81] Gordon, J. E.; Patton, C. M.; Luhmann, S. J.; Bassett, G. S. und Schoenecker, P. L. (2001): Fracture stability after pinning of displaced supracondylar distal humerus fractures in children, J Pediatr Orthop (Band 21), Nr. 3, Seite 313-8.
- [82] Skaggs, D. L.; Hale, J. M.; Bassett, J.; Kaminsky, C.; Kay, R. M. und Tolo, V. T. (2001): Operative treatment of supracondylar fractures of the humerus in children. The consequences of pin placement, J Bone Joint Surg Am (Band 83-A), Nr. 5, Seite 735-40.
- [83] Kennedy, J. G.; El Abed, K.; Soffe, K.; Kearns, S.; Mulcahy, D.; Condon, F.; Moore, D.; Dowling, F. und Fogarty, E. (2000): Evaluation of the role of pin fixation versus collar and cuff, Injury (Band 31), Nr. 3, Seite 163-7.
- [84] Pompino, H.-J. (1987): Indikationen zur operativen Versorgung der supra- und percondylären Humerusfrakturen, Hofmann- v. Kap-herr, S., Operationsindikationen bei Frakturen im Kindesalter, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart-New York.
- [85] France, J. und Strong, M. (1992): Deformity and function in supracondylar fractures of the humerus in, J Pediatr Orthop (Band 12), Nr. 4, Seite 494-8].
- [86] Keenan, W. N. und Clegg, J. (1996): Variation of Baumann's angle with age, sex, and side: implications for its, J Pediatr Orthop (Band 16), Nr. 1, Seite 97-8.

7 Danksagung

Ich danke besonders Frau Dr. med. P. Degenhardt für die Betreuung und Beratung dieser Arbeit, sowie für die Unterstützung bei der Bewältigung technischer und organisatorischer Probleme. Ohne sie wäre diese Arbeit undenkbar gewesen.

Ebenso möchte ich Herrn Prof. Dr. med. J. Wit für die Überlassung des Themas, sowie für die Durchsicht und die Beratung beim Abfassen der Arbeit danken.

Herrn Prof. Dr. med. H. Mau danke ich dafür, an der Klinik und Poliklinik für Kinderchirurgie der Charité diese Arbeit schreiben zu dürfen.

Mein Dank gilt auch den Kindern und ihren Familien, die sich ohne Entschädigung dazu bereit erklärt haben, sich zur Nachkontrolle für diese Arbeit noch einmal in der Klinik für Kinderchirurgie vorzustellen.

Herrn Christian Hendel und Herrn Christian Heine danke ich für die kritische Durchsicht der Arbeit.

Ich widme diese Arbeit meiner Familie, die mir während meines Studiums und auch während der Entstehung dieser Arbeit stets den Rücken gestärkt hat und mir Mut und Zuversicht gegeben hat auch schwierige Phasen zu durchstehen.

Erklärung an Eides Statt

Hiermit erkläre ich, Katrin Feder geboren am 28.01.1978 in Potsdam, dass diese Dissertation von mir selbst ohne die Hilfe Dritter verfasst wurde, auch in Teilen keine Kopie anderer Arbeiten darstellt und die benutzten Hilfsmittel sowie die Literatur vollständig angegeben sind.

Tübingen, den 15.09.2004

Katrin Feder